

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE  
MATERIALES E INGENIERÍA QUÍMICA**



**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN EN COCHES 3000 DE  
METRO DE MADRID DE UN SISTEMA DE ENERGÍA  
RENOVABLE Y SOSTENIBLE BASADO EN BATERÍAS DE  
ION-LITIO**

AUTORA: ALMUDENA ARAUJO BRIONES

TUTORA: M<sup>º</sup> EUGENIA RABANAL JIMENEZ

LEGANÉS, NOVIEMBRE 2012



# AGRADECIMIENTOS

... Y por fin llegó el día.

Ha habido momentos en los que pensé que no llegaría al final pero, como todos los finales, éste ha llegado y es tan feliz como imaginé, tan pleno como esperaba y sobre todo, tan satisfactorio como había deseado.

Quiero dar las gracias a las personas que me han apoyado, que han creído en mí y que me han acompañado en los diferentes momentos de esta aventura, formando parte de mi día a día, jugando un papel crucial y vital en la misma.

Mamá. Papá. Empiezo por vosotros, porque desde el primer día de mi vida y en cada uno de mis pasos habéis estado dándome un apoyo sincero e impagable, convirtiéndoos en las personas más importantes de mi vida. Habéis hecho lo imposible para hacer factible que llegue a este punto y si soy algo en la vida es gracias al esfuerzo y amor que nos profesáis a mi hermano y a mí.

En segundo lugar, pero no por ello menos importante sino al contrario, quiero darte las gracias Sergio. Mi media mandarina. Vaya donde vaya y haga lo que haga siempre estás a mi lado y el tiempo y tu confianza han dado el apoyo vital a mi proyecto y mi corazón. Por fin tendremos todo el tiempo del mundo para nuevos proyectos, siempre juntos. TE QUIERO.

Fueron diez años los que esperaste para conocerme, Hermano. Tú y Olga me habéis hecho el mejor regalo posible por anticipado con Andrea y Noelia, mis dos sobrinas, las dos pequeñas personitas a las que más quiero.

Gracias a toda mi familia, Toñi, Antonio, Olga, mis tíos Emi y Fonsi, Loren, Felipe, Conchi y a mis primos Sara, Alfonso y Marta.... Sin el cariño y apoyo de todos no se logran los retos y teneros ha hecho más fácil el camino.

A mis compañeros de fatigas, a los que conocí en la Universidad, unos antes, otros después; pero todos geniales. Alberto, Javi, José Luis, Gemma, Patricia, Sara, Edu Torres, Miguel, Cristina, Gema, María, Santi, Arancha, seguro que me dejo a muchos porque muchos son los buenos amigos y los ratos que hemos pasado.

Quiero mencionar a parte, porque se lo merecen con creces, a Diego y Celia por ser dos de las mejores personas que he conocido y puedo decir bien alto lo orgullosa que me siento por teneros a mi lado. Ahora empezamos otra etapa distinta pero, os fastidiáis que os habéis hecho un hueco en mi casa, en mi familia. Sois geniales.

Compis de Metro, cómo no. El selecto club "Araujo cástate", Silvia, Dani, Adrián, Javi, las chicas de la T2, Carol, Esther, Bego, Asun, David....

Y por último, pero casi la culpable de la mayoría de estas páginas, Lara Barroso. Sin tu colaboración, horas de dedicación, de laboratorio en que todo salía mal y ratos de espera en los Montaditos, sin ti, todo esto no hubiese sido posible.

A todos, gracias.



# RESUMEN

Debido al agotamiento de las reservas de los combustibles fósiles, se hace necesario el desarrollo de fuentes alternativas limpias y renovables. Las baterías de ion litio cumplen estos requisitos ya que son baterías con energías específicas elevadas y de larga vida.

En los primeros capítulos de este proyecto se muestran las características y propiedades de las baterías de Ion-Litio.

Como aplicación se ha elegido la batería del coche tipo 3000, que es el modelo de vagón de Metro de Madrid que se utiliza en Línea 2/Ramal. Se explica detalladamente el modelo de batería que se utiliza en la actualidad.

Se explican los efectos y consecuencias de la utilización de los componentes de las baterías en la actualidad, ya que son contaminantes y tienen efectos nocivos para la salud de las personas y del medio ambiente.

Se ponen, como ejemplos reales, las baterías de Ion- Litio ya comercializadas en vehículos de uso particular (híbridos y eléctricos).

Como parte experimental, se estudia la síntesis para obtener nanopartículas de  $\text{LiFePO}_4$  que puedan ser útiles para formar electrodos positivos (cátodos) en las baterías de Ion-Litio. Se explica detalladamente el método empleado y también las técnicas de caracterización usadas en esta vía de investigación.



## ABSTRACT

Due to the depletion of fossil fuels, it is necessary to develop clean and renewable alternative sources. Lithium ion batteries meet these requirements as they are batteries with high specific energy and long life.

In the early chapters of this project, it is shown the characteristics and properties of lithium-ion batteries.

As an application we have chosen the car battery type 3000, which is the model of the Metro de Madrid car used in 2/Ramal line. It is explained in detail the battery model used today.

It is explained the effects and consequences of the use of the battery components at present, since they are polluting and are deleterious to the health of people and the environment.

It is put, as actual examples, the lithium-ion batteries already on the market in private vehicles (hybrid and electric).

As experimental part is studied synthesis for  $\text{LiFePO}_4$  nanoparticles that may be useful to form positive electrode (cathode) in lithium-ion batteries. It explains in detail the method and characterization techniques used in this line of research.





# CONTENIDOS

1	OBJETIVOS .....	17
2	INTRODUCCIÓN .....	19
3	BATERÍAS LI-ION .....	21
3.1	HISTORIA .....	21
3.2	BATERÍAS Y COMPONENTES .....	22
3.2.1	Electrodos .....	22
3.2.2	Ánodo .....	22
3.2.3	Cátodo .....	22
3.2.4	Electrolito.....	22
3.2.5	Separadores .....	23
3.2.6	Elemento.....	23
3.3	PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS .....	23
3.3.1	Propiedades Eléctricas.....	23
3.3.2	Capacidad Q .....	23
3.3.3	Capacidad Específica $Q_e$ .....	24
3.3.4	Energía Específica $E_e$ .....	24
3.3.5	Potencia Específica $P_e$ .....	24
3.4	FUNCIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS DE LITIO .....	26
3.5	MATERIALES PARA ELECTRODO POSITIVO EN BATERÍAS DE ION LITIO .....	30
3.5.1	Recientes materiales catódicos .....	30
3.5.2	La estructura del material catódico .....	31
3.5.3	Características electroquímicas y cambios estructurales durante la carga y descarga .....	32
3.5.4	Recientes avances en materiales catódicos para baterías ion litio .....	33
3.6	BATERÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS .....	35
3.6.1	Baterías primarias .....	35
3.6.2	Pilas alcalinas .....	36
3.6.3	Baterías secundarias.....	36
4	TRENES .....	39
4.1	TREN DE VAPOR.....	39
4.2	TREN ELÉCTRICO.....	39
4.3	IMPACTO AMBIENTAL .....	40
4.3.1	Impacto sobre el medio natural.....	40

4.3.2	Impacto sobre el medio social .....	40
4.4	METRO DE MADRID .....	41
4.4.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	41
4.4.2	ELECTRIFICACIÓN .....	42
4.4.3	PARQUE MÓVIL .....	44
4.4.4	DATOS DE INTERÉS .....	45
4.5	RAMAL ÓPERA-PRÍNCIPE PÍO .....	45
4.5.1	Características Generales .....	46
4.5.2	Historia .....	47
4.5.3	Recorrido .....	48
4.5.4	Material Móvil .....	48
4.5.5	Operación .....	48
4.5.6	Características de trenes 3000 que circulan por Ramal .....	49
4.5.7	Otros datos del tren .....	50
5	BATERÍA MRX200x80 .....	51
5.1	FUNCIONES Y UBICACIÓN .....	51
5.2	COMPONENTES .....	53
5.2.1	Batería MRX200 x80 .....	53
5.2.2	Conexiones .....	53
5.2.3	Circuito de llenado .....	54
5.3	FUNCIONAMIENTO .....	55
5.3.1	Principio de funcionamiento .....	55
5.3.2	Activación .....	55
5.3.3	Desactivación .....	55
5.4	CARACTERÍSTICAS .....	56
5.4.1	Dimensiones y peso .....	56
5.4.2	Datos eléctricos relativos a la batería MRX200 x80 .....	57
6	COMPONENTES MÁS USUALES EN BATERÍAS DE COCHES 3000 .....	59
6.1	NÍQUEL .....	59
6.1.1	Efectos del níquel sobre la salud .....	60
6.1.2	Efectos ambientales del níquel .....	61
6.2	CADMIO .....	62
6.2.1	Efectos del cadmio sobre la salud .....	63
6.2.2	Efectos ambientales del cadmio .....	63
6.3	PLOMO .....	65
6.3.1	Efectos del plomo sobre la salud .....	66

6.3.2	Efectos ambientales del plomo.....	67
7	VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS.....	69
7.1	COCHE DE COMBUSTIÓN .....	69
7.1.1	Clasificación de los combustibles.....	69
7.2	HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS.....	71
7.2.1	Fuera de Japón .....	71
7.2.2	Dentro de Japón .....	71
7.3	MÓDULO DE BATERÍA.....	72
7.4	PERSPECTIVAS DE FUTURO .....	72
7.5	APLICACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE LAS BATERÍAS ION LITIO EN COCHE ELÉCTRICO - Peugeot iOn.....	73
7.5.1	Impacto Emisión CO <sub>2</sub> .....	73
7.5.2	Ahorro.....	73
7.5.3	Funcionamiento de la batería .....	74
7.5.4	Seguridad .....	74
7.5.5	Conducción .....	75
7.5.6	Recarga .....	75
7.6	APLICACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE LAS BATERÍAS ION LITIO EN COCHE HÍBRIDO - Toyota Prius.....	76
7.6.1	Completa Satisfacción .....	76
7.6.2	Eficiencia y Combustible .....	76
7.6.3	Facilidad de Uso .....	78
7.6.4	Silencioso y suave.....	79
7.6.5	Cómo funciona Hybrid Synergy Drive .....	80
8	PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LiFePO <sub>4</sub> RECUBIERTO DE CARBÓN COMO MATERIAL CATÓDICO PARA BATERÍAS DE ION LITIO CON POLÍMERO DE RESORCINOL FORMALDEHIDO COMO PRECURSOR DEL CARBONO .....	83
8.1	PREPARACIÓN DE LiFePO <sub>4</sub> /C .....	83
8.2	MÉTODO DE PRECIPITACIÓN .....	83
9	OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS .....	85
10	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN .....	91
10.1	DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	91
10.1.1	Método Empleado .....	92
10.2	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO .....	92
10.2.1	Antecedentes.....	92
10.2.2	Funcionamiento .....	93
10.2.3	Principales Aplicaciones .....	93

11	RESULTADOS.....	95
11.1	MUESTRAS OBTENIDAS .....	95
11.2	SERIE 1.....	96
11.2.1	Etapa 1.....	96
11.2.2	Etapa 2.....	97
11.2.3	Etapa 3.....	98
11.3	SERIE 2.....	99
11.3.1	Etapa 1.....	99
11.3.2	Etapa 2.....	100
11.3.3	Etapa 3.....	101
11.4	SERIE 3.....	102
11.4.1	Etapa 1.....	102
11.4.2	Etapa 2.....	103
11.4.3	Etapa 3.....	104
11.5	SEM .....	105
11.5.1	Etapa 1.....	105
11.5.2	Etapa 2.....	107
11.5.3	Etapa 3.....	109
12	CONCLUSIONES.....	111
13	TRABAJOS FUTUROS .....	113
14	PRESUPUESTO .....	115
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117
16	REFERENCIAS WEB.....	119

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Funcionamiento de una batería de litio, con litio metálico como electrodo negativo
Figura 2	Funcionamiento de una batería de ión litio
Figura 3	Microfotografías TEM
Figura 4	Curvas de voltametría cíclica
Figura 5	Pilas alcalinas
Figura 6	Plano esquemático Ramal Ópera-Príncipe Pío
Figura 7	Leyenda, cómo interpretar Figura 6
Figura 8	Coche tipo 3000
Figura 9	Funciones y ubicación de la batería MRX200x80
Figura 10	Partes de la batería MRX200x80
Figura 11	Conexiones de la batería MRX200x80
Figura 12	Circuito de llenado de la batería MRX200x80
Figura 13	Bornes para activación/desactivación de la batería MRX200x80
Figura 14	Dimensiones de la batería MRX200x80
Figura 15	Estado de carga de la batería del Peugeot iOn
Figura 16	Vista frontal del Peugeot iOn
Figura 17	Funcionamiento de la batería del Peugeot iOn
Figura 18	Vista lateral del Peugeot iOn
Figura 19	Recarga del vehículo eléctrico
Figura 20	Motor del vehículo híbrido
Figura 21	Batería del vehículo híbrido
Figura 22	Manta calefactora
Figura 23	Manta calefactora en el primer paso
Figura 24	Disolución obtenida después de añadir $\text{NH}_3$ y antes de introducirla en la centrifugadora
Figura 25	Centrifugadoras empleadas para la separación de la muestra
Figura 26	Viales empleados en la centrifugadora
Figura 27	Compuesto de $\text{FePO}_4$ a la salida del horno de vacío

Figura 28	$\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ molido
Figura 29	Mezcla de CTAB con $\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Figura 30	Horno de secado
Figura 31	$\text{LiFePO}_4$ obtenido después de un tratamiento térmico de 6 horas
Figura 32	Equipo empleado en la tercera etapa de la obtención de nanopartículas $\text{LiFePO}_4$
Figura 33	Muestra a introducir en el horno
Figura 34	DRX serie 1 etapa 1
Figura 35	DRX serie 1 etapa 2
Figura 36	DRX serie 1 etapa 3
Figura 37	DRX serie 2 etapa 1
Figura 38	DRX serie 2 etapa 2
Figura 39	DRX serie 2 etapa 3
Figura 40	DRX serie 3 etapa 1
Figura 41	DRX serie 3 etapa 2
Figura 42	DRX serie 3 etapa 3
Figura 43	Análisis SE 500x Serie2, Step1
Figura 44	Análisis cualitativo Serie 2, Step1
Figura 45	Análisis BSE 1000x Serie 2, Step 1
Figura 46	Análisis BSE 350x Serie 2, Step 1
Figura 47	Análisis BSE 350x Serie 2, Step 2
Figura 48	Análisis BSE 1000x Serie 2, Step2
Figura 49	Análisis BSE 500x Serie 2, Step3
Figura 50	Análisis BSE 800x Serie 2, Step3

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Electrodos positivos de bajo potencial de batería ión-litio
Tabla 2	Electrodos positivos de alto potencial de batería ión-litio
Tabla 3	Electrodos negativos y nuevos electrodos de baterías ión-litio
Tabla 4	Nuevos electrodos en investigación para baterías ión-litio
Tabla 5	Propiedades de materiales catódicos y anódicos para baterías de ion litio
Tabla 6	Tensión de alimentación de las líneas de Metro de Madrid
Tabla 7	Tipo de catenaria por línea
Tabla 8	Características generales de la línea Ramal
Tabla 9	Características del Níquel
Tabla 10	Características del Cadmio
Tabla 11	Características del Plomo
Tabla 12	Reactivos de la disolución
Tabla 13	Fases serie 1 etapa 1
Tabla 14	Fases serie 1 etapa 2
Tabla 15	Fases serie 1 etapa 3
Tabla 16	Fases serie 2 etapa 1
Tabla 17	Fases serie 2 etapa 2
Tabla 18	Fases serie 2 etapa 3
Tabla 19	Fases serie 3 etapa 1
Tabla 20	Fases serie 3 etapa 2
Tabla 21	Fases serie 3 etapa 3





# 1 OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto es conocer y evaluar de manera teórica, las ventajas del uso de fuentes renovables de energía medioambientalmente sostenible. En este caso, en la implementación en los trenes que circulan por la línea 2/R de Metro de Madrid.

Otro de los objetivos es obtener en el laboratorio nanopartículas de  $\text{LiFePO}_4$  para conseguir que se puedan utilizar como electrodos positivos (cátodos) en las baterías de ion litio.

Como objetivos parciales:

- Obtener una batería de ion litio capaz de suministrar corriente de baja para los distintos circuitos eléctricos de la unidad del tren que funcionan a esas tensiones, como son: alumbrado, señalización, comunicaciones, control de puertas, control de frenado y manejo.
- Optimizar las condiciones experimentales para la síntesis de  $\text{LiFePO}_4$ .
- Establecer las condiciones para la síntesis de  $\text{LiFeCuPO}_4$ .



## 2 INTRODUCCIÓN

A medida que el mundo confía cada vez más en sistemas electrónicos y eléctricos para el desarrollo de sus funciones diarias, depende cada día más de las baterías. Según se reduce el tamaño de los sistemas eléctricos y electrónicos y éstos se hacen más eficientes, las baterías proporcionan la llave que abre la puerta de la transportabilidad. Incluso en sistemas estacionarios, las baterías adquieren una importancia en aumento, al proporcionar respaldo de memoria o conservar operativas funciones esenciales cuando no se dispone de la energía principal. Además de depender más de las baterías, en términos generales, el mundo ha llegado asimismo, a apreciar la economía y fiabilidad de las baterías recargables.

En estos momentos, las mejoras en la tecnología de las baterías están abriendo muchos nuevos usos para éstas. El rápido desarrollo experimentado por mercados como el de la electrónica portátil, los dispositivos sin cable y las herramientas auxiliares se ha basado, casi enteramente, en las baterías mejoradas actuales. En una gran diversidad de aplicaciones, el uso creativo de las baterías está teniendo, como consecuencia directa, una mejora en las ventas y un incremento en los beneficios. Por otro lado, el uso creativo de las baterías se apoya en el conocimiento del modo en que funcionan éstas.

[RB1]



## 3 BATERÍAS LI-ION

### 3.1 HISTORIA

Los primeros trabajos de investigación de las baterías de litio comenzaron en 1912 pero hasta principios de la década del 70 que las primeras baterías no recargables de litio se volvieron aprovechables comercialmente.

Intentos por desarrollar baterías de litio recargables continuaron durante los años ochenta, pero fallaron debido a problemas de seguridad.

El litio es el más liviano de todos los metales, posee el mayor potencial electroquímico y representa el mayor contenedor de energía. Usando litio metálico como electrodo negativo las baterías recargables son capaces de proveer alto voltaje y excelente capacidad, obteniendo así una extraordinaria alta densidad de energía.

Tras largas investigaciones sobre las baterías de litio durante la década del ochenta, se descubrió que el ciclaje de carga altera el electrodo de litio reduciendo de este modo su estabilidad térmica y provocando una potencial fuga térmica.

Si esto se produce, la temperatura de la celda rápidamente se aproxima al punto de fusión del litio, lo que desencadena una violenta reacción.

A causa de la inestabilidad inherente al metal - litio, especialmente durante su carga, las investigaciones se orientaron hacia la búsqueda de una batería de litio no metálico usando iones de litio como dióxido de litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ). Aunque levemente menor en densidad de energía que el metal - litio, el Li-Ion es seguro, provisto con ciertas precauciones para al carga y la descarga.

En 1991, se comercializó la primer batería de Li-Ion. Otros fabricantes siguieron el ejemplo siendo hoy el químico de baterías de más rápido crecimiento en el mundo. Han surgido varios tipos de baterías de Li-Ion. La versión original usaba carbón como electrodo negativo. Desde 1997, la mayoría de las baterías de Li-Ion se han volcado al uso del grafito. Este electrodo presenta una curva de descarga de voltaje más plana que el carbón y ofrece un agudo ángulo de curva, seguido por una rápida caída de voltaje. Como consecuencia la energía útil del sistema de grafito puede ser recuperada descargando solo hasta 3V, mientras que la versión de carbón debe ser descargada hasta los 2.5V para obtener igual rendimiento.

Dos químicos diferentes han surgido para el electrodo positivo. Estos son el cobalto y el manganeso. Aunque el cobalto ha sido muy usado, el manganeso es inherentemente más seguro y se resiente menos ante el abuso.

Los circuitos de protección pueden ser simplificados o aún eliminados. Como desventajas, el manganeso ofrece una densidad de energía levemente menor, sufre pérdida de capacidad a temperaturas superiores a los 40°C y envejece más rápido que el cobalto.

A pesar de que las celdas de Li-Ion tienen algún impacto ambiental, causan menos daño que las baterías basadas en cadmio o plomo. Entre la familia de baterías de Li-Ion, la de manganeso es la más noble.  
[RW1]

## 3.2 BATERÍAS Y COMPONENTES

Una batería es un dispositivo que convierte la energía química contenida en los materiales activos, en energía eléctrica por medio de reacciones electroquímicas de oxidación y reducción.

La unidad básica de este sistema es la celda, reservando el nombre de batería a la unión de dos o más celdas conectadas en serie, paralelo o de ambas formas, para conseguir la tensión y capacidad deseadas.

La celda está constituida por los siguientes componentes básicos:

1. Electrodos
2. Electrolito
3. Separadores
4. Elemento

### 3.2.1 ELECTRODOS

Los electrodos de las baterías suelen ser placas que tienen dos partes:

- La rejilla
- El material activo

La rejilla hace de soporte mecánico del material activo y es el conductor eléctrico de la corriente generada.

El material activo suele prepararse en forma de pasta, con una determinada consistencia que permita su aplicación a la rejilla.

### 3.2.2 ÁNODO

Es el electrodo negativo, el que durante la descarga de la batería se oxida y los electrones producidos en la reacción salen al circuito exterior.

En general se puede decir que, cuando la batería se encuentra cargada, el ánodo está formado por metales, que se oxidan durante la descarga.

### 3.2.3 CÁTODO

Es el electrodo positivo, el que durante la descarga se reduce, aceptando electrones del circuito exterior.

Cuando la batería se encuentra cargada, los ánodos generalmente se corresponden con óxidos que se reducen durante la descarga.

### 3.2.4 ELECTROLITO

Es un conductor iónico que permite la transferencia de electrones en el circuito interior por medio del desplazamiento de los iones entre el ánodo y el cátodo.

Normalmente el electrolito es una solución acuosa de un ácido, una base o sales.

### 3.2.5 SEPARADORES

La función de los separadores es aislar las placas de diferente polaridad, evitando el cortocircuito en el interior de la celda, al mismo tiempo debe permitir el paso de iones a través de él.

Para lograr estos objetivos se necesitan materiales porosos que resistan las condiciones agresivas del medio (electrolito, materiales activos).

### 3.2.6 ELEMENTO

Las placas y separadores deben ensamblarse para formar lo que se denomina elemento, que está formado por dos conjuntos de placas de diferente polaridad, donde las placas positivas y negativas van alternándose y están aisladas por los separadores.

Las placas de la misma polaridad se unen eléctricamente por medio de la tira de conexión.

Cuando se necesita una tensión mayor que la del propio elemento se unen los elementos en serie, pasando del concepto de celda al de batería. [RB2]

## 3.3 PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS

### 3.3.1 PROPIEDADES ELÉCTRICAS

La capacidad de generar una cantidad de energía, sin que su potencial disminuya a valores insignificantes, es la característica principal de una batería y se puede expresar con diferentes magnitudes que presentamos a continuación:

### 3.3.2 CAPACIDAD Q

Proporciona la cantidad de electricidad que se puede almacenar y puede expresarse como:

$$Q = nzF$$

$n$  = numero de electrones trasferidos

$z$  = numero de moles en este caso de electrones

$F$  = Constante de Faraday

La unidad de  $Q$  es el Culombio o también Amperioshora.

La capacidad depende de la cantidad del material activo utilizado, que lleva en algunos casos a confusiones y caracteriza una batería en particular.

### 3.3.3 CAPACIDAD ESPECÍFICA $Q_E$

Es la capacidad de una batería por unidad de masa (Kg) en algún caso o de volumen en otro (L), dependiendo de la aplicación en la que se desee utilizar.

$$Q_e = Q/m \text{ o } Q_e = Q/v$$

m = masa del material activo en KG.

v = volumen del material activo en L

La unidad de  $Q_E$  es Ah/Kg o Ah/L respectivamente.

### 3.3.4 ENERGÍA ESPECÍFICA $E_E$

Es el producto de la capacidad específica y el potencial de salida; se expresa como:

$$E_e = Q_e E$$

E = potencial de la celda

La unidad de la energía específica es J/g pero mayormente se expresa en Wh/kg.

### 3.3.5 POTENCIA ESPECÍFICA $P_E$

Es la velocidad con la que puede ser extraída la energía almacenada en la batería. Depende de la velocidad de difusión de los iones en los electrodos y en el electrolito.

$$P_e = W/gr$$

W = watios

gr = gramos

La caracterización de los materiales empleados como electrodos se basa en observaciones de su comportamiento de varios ciclos de carga y descarga, denominada ciclabilidad; algunos términos que se utilizan para caracterizar son:

- Factor de carga: Es el cociente entre la capacidad de la curva de descarga y la capacidad de la curva de carga.
- Eficacia del ciclo: Es el cociente entre la energía de la curva de descarga y la energía de la curva de carga.
- Vida media: Es el numero de de ciclos carga-descarga a la que puede ser sometido una celda electroquímica antes de descartarla.
- Efecto memoria: En el que en cada recarga se limita la capacidad de almacenar energía.



Todas estas caracterizaciones requieren de equipos de medición muy sensibles de costos elevados; entre ellos, nombramos:

- Celdas especiales
- Potenciostato-Galvanostato, con ordenador
- Cámara de guantes

Si bien no son parámetros técnicos, habrá que tomar en cuenta como características de las baterías, su costo y el grado de contaminación al medio ambiente que se produce en su fabricación y el de sus desechos.

➤ Propiedades fisicoquímicas de los electrodos

Al margen de la caracterización electroquímica de las baterías construidas, en las investigaciones que se realizan a nivel mundial, se requiere caracterizar fisicoquímicamente las propiedades químicas estructurales, morfológicas y eléctricas en diferentes puntos de los electrodos en función de las condiciones de trabajo, que permiten establecer los mecanismos de reacción con el litio.

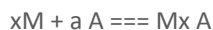
Entre las diferentes técnicas, se puede mencionar:

- Difracción de rayos X (XRD)
- Espectroscopia de fotoemisión de rayos X (XPS)
- Microscopia electrónica de barrido (SEM)
- Microscopia de fuerzas atómicas (AFM)
- Espectroscopia de impedancia electrónica (EIS).

El manejo de estos equipos requiere de personal calificado; esto implica que los estudios se realizan en colaboración con diferentes laboratorios que permiten llegar a conclusiones sobre lo investigado. Por lo indicado, se puede establecer que no todos los centros de investigación cuentan con estos equipos y es necesario pedir servicios a otros centros. Por otra parte, el equipamiento y reactivos que se utilizan en el ensamblado de los electrodos son de alta pureza y muy caros. Esto implica que los costos de estas investigaciones son cuantiosos.

## 3.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS DE LITIO

El funcionamiento de las baterías de ion-litio recargables o secundarias se basan en procesos denominados de inserción- desinserción de iones litio ( $\text{Li}^+$ ). En general, la reacción que ocurre se puede describir de la manera siguiente:



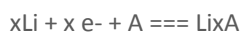
Las reacciones son en estado sólido entre dos compuestos de inserción como electrodos. Uno de los compuestos es denominado huésped (M); de naturaleza iónica, reacciona ocupando lugares vacantes (a) en la estructura de otra especie denominada anfitrión (A). Estas reacciones pueden ocurrir en forma reversible.

En las baterías primarias de litio, el electrodo negativo esta constituido por el litio metálico y el electrodo positivo, por un compuesto que actúa como anfitrión durante la reacción de inserción. El electrolito puede ser una disolución de una sal de litio en un solvente no acuoso.

Durante el proceso de descarga, en el electrodo negativo se oxida el litio metálico:



El Ion-Litio se mueve a través del electrolito hacia el electrodo positivo donde se produce la reducción de la especie anfitrión y la inserción de la especie huésped.



La reacción total durante la descarga será:



Durante el proceso de carga, se produce la reacción contraria: en el electrodo Positivo, la oxidación de la especie anfitrión y, en el electrodo negativo, se deposita el Litio metálico.

Sistemas que utilizan  $\text{Li-MnO}_2$ ,  $\text{Li-FeS}_2$ ,  $\text{Li-MoS}_2$  y otros más se utilizan en las pilas, denominadas botón, y también en baterías de mayor tamaño para equipos portátiles. Su desarrollo ha sido frenado por la utilización de litio metálico como electrodo negativo, con los problemas de reactividad e inseguridad antes mencionados. Además, durante el proceso de carga los iones litio se depositan en el electrodo negativo creciendo y expandiéndose cada vez mas en los diferentes procesos de carga-descarga, llegando en algún momento a contactar los dos electrodos con el consiguiente cortocircuito y, en algunos casos, con la explosión de la batería. Este proceso reduce la vida media de la batería.

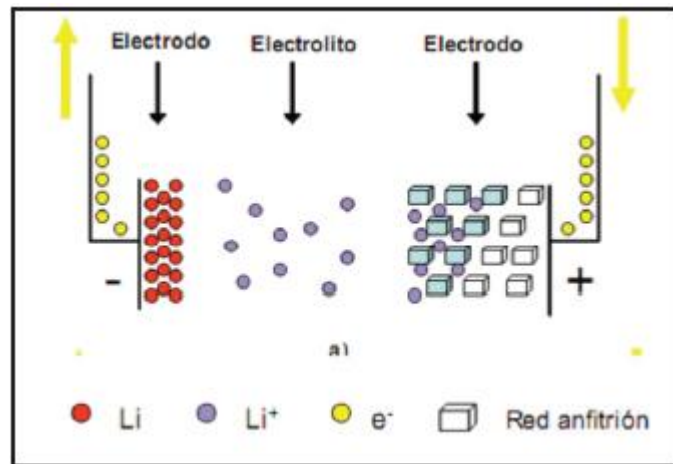


FIGURA 1: Funcionamiento de una batería de litio, con litio metálico como electrodo negativo

Para evitar este problema, se ha desarrollado las baterías Ion-litio que utilizan dos compuestos de intercalación como electrodos. Uno de los electrodos contiene al litio inicialmente ionizado, de tal forma que durante los procesos de carga y descarga se inserten en el electrodo opuesto. Este tipo de baterías son estables al aire (húmedo), por lo que no se requiere condiciones de ensamblado tan estrictas como las que utilizan litio metálico como electrodo. El potencial de salida de las baterías se debe a la diferencia de potencial entre ambos compuestos de intercalación respecto al par  $\text{Li}^+/\text{Li}$ . Para tener un potencial lo mas alto posible, se debe seleccionar un material como electrodo Positivo, con un potencial alto de intercalación respecto al litio y como electrodo negativo, con un material que sea lo mas bajo posible.

Como ya se indica, las primeras baterías de este tipo fueron comercializadas por la firma Sony, que utilizo el oxido de cobalto litio ( $\text{LiCoO}_2$ ) como cátodo; carbón-Li, como ánodo; como electrolito, una disolución de la sal  $\text{LiPF}_6$  y, como disolvente, una mezcla de carbonato de etileno (EC) y dimetil carbonato (DMC).

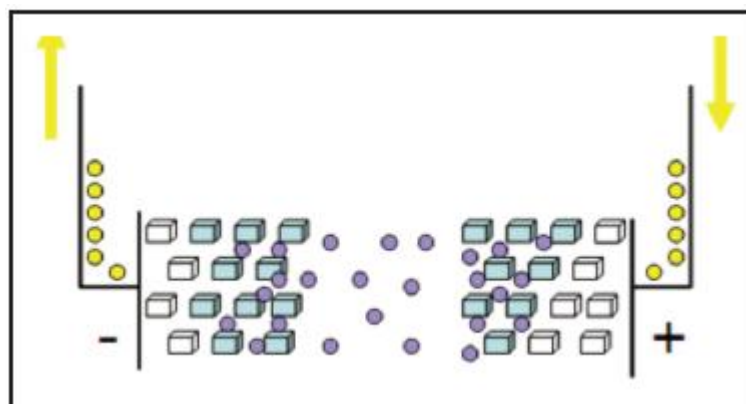


FIGURA 2: Funcionamiento de una batería de ión litio

Desde esa fecha, se han investigado y propuesto miles de compuestos de intercalación que satisfacen las condiciones de alto y bajo potencial de trabajo respecto al par  $\text{Li}^+/\text{Li}$ , para actuar como cátodo y ánodo, respectivamente. Estos compuestos deben ser estables a los procesos de carga-descarga para alargar su tiempo de vida.

TABLA 1: Electrodo positivo de bajo potencial de batería ión-litio [RB3]

Electrodos (+) de alto potencial	Composición	Potencial (V)
1	$\text{LiCoO}_2$	3,8-4,5
2	$\text{LiNiO}_2$	3,5-4,4
3	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	3,6-4,5
4	$\text{LiFePO}_4$	3,7-4,5
5	$\text{LiV}_2\text{O}_5$	2,9-3,3

TABLA 2: Electrodo positivo de alto potencial de batería ión-litio [RB3]

Electrodos (+) de bajo potencial	Composición	Potencial (V)
1	$\text{SnO}_2$	0,5-1,2
2	$\text{SnO}$	0,6-1,3
3	$\text{TiS}_2$	1,8-1,9
4	$\text{TiO}_2$	1,8-2,1

Hasta la fecha, los electrodos mas usados son los 4 primeros que utilizan un electrodo Negativo de carbón; en el caso del electrodo 5, usa carbón como electrodo negativo y una lamina de Litio que origina complicaciones en su ensamblaje, por la reactividad del litio con la humedad del aire. Entre el 1 y el 2 mas utilizado es el 1 por su mayor potencial. Por otra parte, el 3 posee una estructura estable que permite la difusión más rápida de los iones  $\text{Li}^+$ . El Co es más caro y más escaso que el manganeso y, además, el manganeso es mas limpio, desde el enfoque medioambiental, lo que le confiere mayor uso.

Actualmente el desarrollo y las investigaciones de los electrodos positivos están concentrados en modificar sus propiedades de los electrodos tipo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  que permitan prolongar su vida media y aumentar su capacidad energética mediante el dopaje con metales como los de transición (Fe, Co, Ni, Cu) que fortalecen su estructura tipo espinela, para soportar mayor ciclabilidad y aumentar su energía específica en el rango de 5 voltios.

TABLA 3: Electrodo negativo y nuevos electrodo de baterías ión-litio [RB3]

Electrodo (-)	
Composición	Potencial (V)
$\text{LiC}_6$	-0,5-1,2
$\text{LiW}_2$	0,0-1,2
$\text{LiMoO}_2$	0,3-1,2
$\text{Li}_x\text{My}$	0,1-0,75

TABLA 4: Nuevos electrodo en investigación para baterías ión-litio [RB3]

Composición de Nuevos Electrodo
ión- $\text{LiFePO}_4$
$\text{MnO}_x$
$\text{LiSn}_{0,5}\text{P}_{0,5}\text{O}_3$
$\text{Li}_{2,6}\text{Co}_{1,4}\text{N}$
$\text{LiTiO}_2$
$\text{LiTiS}_2$
$\text{Cu}_2\text{O}$

Como ya se menciona anteriormente, el carbón (coque, grafito, carbones de baja cristalinidad) se utiliza como electrodo negativo (Ánodo) en las baterías recargables de Ion-litio comerciales. Este material almacena iones litio en forma reversible entre laminas de átomos de carbono, desarrollando un potencial muy bajo con relación al par  $\text{Li}^+/\text{Li}$ . La capacidad teórica máxima que proporciona el grafito se calcula a partir de la inserción de un átomo de litio por cada seis átomos de carbono ( $\text{LiC}_6$ , 372 Ah/Kg). Las limitaciones se dan debido principalmente a:

- Intercalación de litio en la estructura lo que produce un hinchamiento y pérdida de capacidad
- Co-intercalación del disolvente que produce el deterioro del electrodo.

Estas limitaciones han motivado en investigar nuevos materiales (inorgánicos) que actúen como electrodo negativos; podemos agruparlos en dos grupos:

1. Óxidos, calcogenuros y nitruros de metales de transición 3d
2. Aleaciones de metales con litio reversibles, como el Bi, Al, Si, Sn, Pb, In, Ag y Sb.

Estos electrodo han mostrado nuevos mecanismos de reacción y proporcionan densidades energéticas más elevadas que las del grafito que permiten prestaciones energéticas altas.

Estos óxidos de metales de transición (Co, Ni, Cu, Fe), que antes fueron estudiados como electrodos positivos, pueden reaccionar en forma reversible con el litio a bajos potenciales como electrodos negativos en las baterías Ion-Li.

Estos materiales no actúan como compuestos de inserción sino se descomponen por reducción con el litio y el  $\text{Li}_2\text{O}$  formado en la reducción actúa como material activo en la reacción inversa durante la recarga. Estos óxidos pueden suministrar valores de capacidad específica de hasta 700 Ah/kg, superior a los que proporcionan los carbones. Entre los óxidos investigados, se tiene:



Las investigaciones han mostrado que algunos presentan potenciales altos frente al par Redox  $\text{Li}^+/\text{Li}$  que no les permite actuar como electrodos negativos; de manera que se están estudiando otros compuestos con los metales de transición como los fluoruros, nitruros, boratos y sulfuros. [RB3]

## 3.5 MATERIALES PARA ELECTRODO POSITIVO EN BATERÍAS DE ION LITIO

### 3.5.1 RECIENTES MATERIALES CATÓDICOS

La batería de iones de litio genera un voltaje de más de 3,5 V por una combinación de un material de catódico y un material anódico de carbono. Puesto que la energía de una batería depende del producto de su tensión y su capacidad, se obtiene una batería con una mayor densidad de energía para un material con un voltaje más alto y una mayor capacidad. Por lo tanto, cuando se utiliza el mismo material anódico, cuanto mayor es el potencial del cátodo y la capacidad del material catódico, mayor será la energía de la batería.

El cátodo y el ánodo se empaquetan en un recipiente con dimensiones constantes, por lo que la capacidad por unidad de volumen es más importante que por unidad de peso. Los materiales catódicos de espinela de manganeso, aunque inferiores a los compuestos de capas, son baratos y ricos en recursos. Por lo tanto, es adecuado como material catódico para su uso a gran escala en baterías de iones de litio.

El material catódico principal,  $\text{LiCoO}_2$ , en la batería de iones de litio se ha mejorado en términos de capacidad. La capacidad de velocidad se mejora mediante el control de la morfología de las partículas, y la alta capacidad se logra mediante la tensión de carga mayor, mientras se superan problemas de seguridad.

### 3.5.2 LA ESTRUCTURA DEL MATERIAL CATÓDICO

Muchos de los materiales catódicos usados para baterías de ion litio tienen estructura de capas, lo que permite la difusión del ion litio en las dos dimensiones, o estructura en espinela, que permite la difusión en las tres dimensiones. Las estructuras de los materiales catódicos para baterías ion litio están resumidas en la siguiente tabla:

TABLA 5: Propiedades de materiales catódicos y anódicos para baterías de ion litio. [RB4]

Material	Pr. Cap. (mAh/g)	Densidad (g/cc)	Vol. En. Den. (mAh/cc)	Curva descarga	Seguridad	Precio
$\text{LiCoO}_2$	160	5.05	808	Plana	Razonable	Alto
$\text{LiNiO}_2$	220	4.80	1,056	Pendiente	Pobre	Razonable
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$	180	4.85	873	Pendiente	Razonable	Razonable
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$	200	4.8	960	Pendiente	Razonable	Razonable
$\text{LiMn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_2$	160	4.70	752	Pendiente	Buena	Bajo
$\text{LiMn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$	200	4.7		Pendiente	Buena	Bajo
$\text{LiMn}_{0.4}\text{Ni}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$	200	4.7				
$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	110	4.20	462	Plana	Buena	Bajo
$\text{Li}_{1.06}\text{Mg}_{0.06}\text{Mn}_{1.88}\text{O}_4$	100	4.20	420	Plana	Buena	Bajo
$\text{LiAlMnO}_4$						
$\text{LiFePO}_4$	160	3.70	592	Plana	Buena	Bajo

TABLA 5: Propiedades de materiales catódicos y anódicos para baterías de ion litio.

### 3.5.3 CARACTERÍSTICAS ELECTROQUÍMICAS Y CAMBIOS ESTRUCTURALES DURANTE LA CARGA Y DESCARGA

#### 3.5.3.1 ESPINELA

---

El manganeso, cuyo recurso es abundante y barato, se utiliza en todo el mundo como un material de la batería respetuosa con el medio ambiente y de bajo costo en seco. Además, cuando un tipo de espinela basado en material de manganeso se utiliza como el material de electrodo de una batería de iones de litio, la batería tiene las ventajas de mejoría en seguridad y un circuito de control de batería de bajo costo. La tendencia del mercado para el material catódico basado en manganeso para una batería de iones de litio está dividida en dos categorías.

La primera categoría son los materiales utilizados en dispositivos electrónicos portátiles, tales como el teléfono móvil. La espinela de manganato de litio ha sido utilizada para la fuente de alimentación del teléfono móvil durante muchos años debido a su excelente seguridad y circuito de control más barato, aunque su cuota de mercado es baja.

La segunda categoría son los materiales catódicos para grandes baterías de iones de litio como fuente de energía para vehículos eléctricos, vehículos híbridos, etc. Alta potencia, seguridad y bajo costo son muy necesarios para sus requerimientos, por lo que materiales catódicos a base de manganeso son adecuados para tales aplicaciones. Destaca en la densidad de potencia en comparación con el más barato material de catódico a base de hierro ( $\text{LiFePO}_4$ ) y se utiliza en una pila de gran tamaño.

Es indispensable para el material catódico contener iones metálicos redox para destilación en la carga. Son deseables contenidos más altos de iones redox e iones Li para retirar una alta capacidad de materiales catódicos. Un material con un peso inferior tiene la ventaja de conseguir una mayor densidad de energía específica por peso, por lo tanto, el ion oxígeno con una menor masa por carga y coste de material gratuito es el más adecuado para la compensación de carga del catión. En otras palabras, los óxidos de manganeso-litio son deseables para los materiales de cátodo en baterías de iones de litio.

#### 3.5.3.2 COMPUESTOS CON ESTRUCTURA TIPO OLIVINO

---

$\text{LiFePO}_4$  ortorrómbico de la estructura de olivino forma  $\text{FePO}_4$  durante la carga/descarga, y existen dos fases cristalinas durante la carga/descarga, por lo que se obtiene una curva de descarga plana. La estructura cristalina ortorrómbica de  $\text{FePO}_4$  formado por la carga se obtuvo usando el método de Rietveld. La sustitución del metal por manganeso modifica la forma de las curvas de carga/descarga. Las capacidades de las regiones de más alto y más bajo voltaje corresponden al que contienen metal y manganeso. Por lo tanto, para mejorar la densidad de energía, sería efectivo sustituir el manganeso. Sin embargo, provoca la disminución de la conductividad, lo que lleva a reducir el rendimiento. [RB4]



### 3.5.4 RECIENTES AVANCES EN MATERIALES CATÓDICOS PARA BATERÍAS ION LITIO

El factor más importante para una batería es cómo aumentar el material activo en la celda con el volumen limitado. Por lo tanto, la capacidad por unidad de volumen es un factor clave.

La capacidad de las baterías de iones de litio se ha incrementado por la mejora del ánodo de carbono en la etapa inicial, sin embargo, las recientes mejoras en la capacidad se consiguen mediante la tensión de carga aumenta.

La aplicación práctica de los materiales a base de níquel, con gran capacidad por unidad de volumen se ha retrasado desde el punto de vista de la seguridad, sin embargo, la seguridad del metal dopado externo  $\text{LiNiO}_2$  fue confirmada y las aplicaciones prácticas del cátodo base de níquel se inició en el año fiscal 2004.

Los materiales de tipo espinela  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  presentan una excelente seguridad, por lo que se considera que es un candidato prometedor para las pilas de gran tamaño como de los vehículos eléctricos híbridos (VEH) y vehículos eléctricos (VE).

Los módulos de baterías para VHE se pueden preparar mediante la conexión de sólo diez celdas individuales con la capacidad de ca.10Ah en serie. Una batería de tipo ligero laminado es adecuada para tal aplicación, y el precio de la batería será más barato.

Una batería de tipo laminado entró en uso práctico como fuente de alimentación para VHE en el año 2003. Se ha solucionado la disminución de la capacidad de un cátodo de manganeso basado en las temperaturas elevadas; entonces es casi definitivo que los materiales a base de manganeso se usarán para este tipo de baterías. Se utilizan principalmente las espinelas dopadas de magnesio y aluminio, las cuales tienen menor tendencia a formar compuestos deficientes en oxígeno.

#### 3.5.4.1 ESTUDIO DE MATERIALES CATÓDICOS

En el campo de materiales catódicos para baterías de litio, se puede describir a la espinela de manganeso,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , como la principal alternativa a los tradicionales óxidos laminares de cobalto -  $\text{LiCoO}_2$  – utilizados en las baterías comerciales. La espinela de Mn presenta grandes ventajas sobre los óxidos de Co, debido a la baja toxicidad medioambiental del Mn y su menor coste de producción. La principal desventaja es su menor tiempo de vida media, inconveniente que se puede mitigar dopando la espinela con otros elementos, como Cr, Fe, Co, Ni y Cu. Estas nuevas espinelas, además de estabilizar la estructura, pueden suministrar voltajes de hasta 5 V. En el trabajo *realizado por el Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química de la Universidad de Córdoba*, se ha ensayado un método de síntesis de espinelas de composición  $\text{LiM}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$  (M= Cu, Ni) cuya principal aportación es la obtención de partículas nanométricas (tamaño de partícula inferior a 100 nm) y con un margen de distribución de tamaño estrecho.

Se parte de una mezcla de ácido oxálico con los correspondientes acetatos metálicos en la estequiometría requerida por la fórmula del compuesto. Esta mezcla se somete a molienda durante 30 minutos y, tras secar, el polvo se calcina a 400°C y 800°C y, de aquí en adelante, las muestras obtenidas se designarán como M400 y M800, respectivamente. La composición se determinó combinando los datos del estado de oxidación promedio, contenido en litio y la relación entre metales Mn/Cu, Ni.

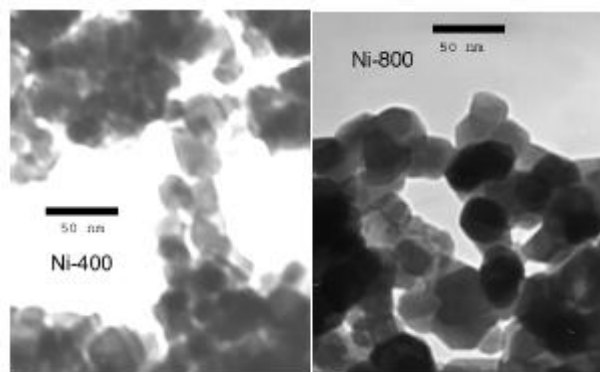


FIGURA 3: Micrografías

Las curvas termogravimétricas de las muestras M400 ponen de manifiesto una pérdida de peso entre 600 y 800°C. Mediante espectroscopia infrarroja se descarta la presencia de restos orgánicos sin descomponer como fuente de esta pérdida de peso. Por ello, se deduce que la pérdida de peso se debe a la liberación de oxígeno de acuerdo con la reacción:



Esta reacción es reversible para la Ni400, ya que al enfriar la muestra en la termobalanza, vuelve a recuperar el peso perdido. Sin embargo, la muestra Cu400 recuperó una pequeña fracción del peso perdido, lo que indica una limitada reversibilidad de la reacción anterior. Mediante datos de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X, se confirmó la formación de  $\text{Cu}^+$  al calcinar a 800°C. La liberación de oxígeno se debe a un proceso de reducción de  $\text{Cu}^{2+}$  a  $\text{Cu}^+$ , proceso que es esencialmente irreversible.

La caracterización estructural de las espinelas se lleva a cabo aplicando el método de Rietveld a los datos obtenidos por difracción de rayos X. Los registros de DRX muestran que todos los compuestos sintetizados presentan la estructura típica espinela. Se observa también la aparición de una pequeña señal que se puede asignar a la sílice proveniente del molino de bolas y confirmado por medidas de IR, XPS y EDAX. La combinación de los datos de composición, de pérdida de peso y ajuste de difractogramas muestra que las espinelas dopadas con Ni son básicamente estequiométricas mientras que las de Cu poseen defecto de oxígeno, especialmente la muestra Cu800, como consecuencia de la pérdida de peso irreversible.

El comportamiento electroquímico de estos compuestos como material catódico en celdas de litio se analiza mediante técnicas galvanostáticas y potenciostáticas en celdas tipo Swagelock. Las curvas de voltametría cíclica (figura 4), muestran dos regiones de actividad electroquímica. Entre 3,5 y 4,5 V se produce la oxidación del  $\text{Mn}^{3+}$  a  $\text{Mn}^{4+}$ , siendo la señal más intensa para las muestras con Cu, comportamiento que es consecuencia del defecto de oxígeno de estas espinelas y que se refleja en un menor estado de oxidación promedio del Mn en comparación con las espinelas de Mn. En la segunda región (4,5 – 5,2 V) se encuentra la señal correspondiente al proceso de oxidación del metal dopante. Del mismo modo, al final de esta región se puede observar un ligero aumento de la intensidad que puede asignarse al proceso de liberación de oxígeno de la red de espinela. La curva catódica presenta un perfil parecido a la anódica, lo que indica una buena reversibilidad de los procesos electroquímicos implicados.

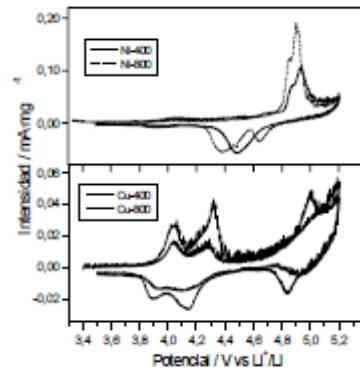


FIGURA 4: Curvas de voltametría cíclica

El estudio galvanistático proporciona resultados coherentes con los obtenidos mediante voltametría cíclica. La capacidad específica suministrada e la meseta de 4 V se corresponde con el contenido de  $\text{Mn}^{+}$  de las distintas espinelas. En la región de 5 V se observa como la capacidad de la muestra Cu400 fue mayor que la de Cu800. Este hecho se puede explicar por la presencia de  $\text{Cu}^{+}$  en la muestra de mayor temperatura, lo que reduce su capacidad y propiedades de ciclaje. La celda de mejor rendimiento es, pues, la preparada a partir de la muestra Ni800. [RB5]

## 3.6 BATERÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

### 3.6.1 BATERÍAS PRIMARIAS

Son aquellas no susceptibles de recibir carga eléctrica y, por tanto, se descargan una sola vez.

La mayoría de los sistemas primarios utilizan un separador absorbente que mantiene el electrolito retenido, por lo que también se denominan pilas secas.

La baja autodescarga de estos sistemas permiten su utilización después de largos periodos de almacenamiento, al contrario de lo que ocurre con los sistemas secundarios, que necesitan de recargas periódicas cuando son almacenados.

La mayoría de las baterías primarias son de pequeño tamaño y de diseño cilíndrico o plano. [RB1]

### 3.6.2 PILAS ALCALINAS



FIGURA 5: Pilas alcalinas

Las pilas alcalinas y baterías alcalinas (una batería es un conjunto de varias celdas electroquímicas individuales) son un tipo de pilas eléctricas desechables o no recargable que obtienen su energía de la reacción química entre el zinc y el dióxido de manganeso ( $\text{Zn/MnO}_2$ ), empleando hidróxido de potasio como electrolito.

En comparación con las pilas de zinc-carbono de Leclanché o con las de cloruro de zinc, aunque todas producen aproximadamente 1,5 voltios por celda o célula, las pilas alcalinas tienen una densidad de energía mayor y una vida útil más larga. En comparación con las pilas de óxido de plata, contra las que habitualmente compiten las alcalinas en el formato de botón, tienen menor densidad de energía y menor duración pero también más bajo costo.

Las pilas y baterías alcalinas reciben su nombre porque contienen un electrolito alcalino de hidróxido de potasio, en lugar del cloruro de amonio en medio ácido o el cloruro de zinc electrolítico de la pilas de zinc-carbono que ofrecen el mismo voltaje nominal y el mismo tamaño físico. Otros sistemas de pilas y baterías también utilizan electrolitos alcalinos, pero emplean distintos materiales activos en los electrodos.

### 3.6.3 BATERÍAS SECUNDARIAS

Estos sistemas, también llamados acumuladores, pueden ser recargados eléctricamente después de su descarga hasta alcanzar su condición inicial, para lo cual son conectados a un sistema de carga que genera una corriente eléctrica en dirección opuesta a la descarga.

Las características más significativas de las baterías secundarias son:

- Buena aptitud para descargas de alta intensidad.
- Buen comportamiento a bajas temperaturas.
- Alta densidad de potencia.

Entre las aplicaciones de los sistemas secundarios se puede destacar:

- Batería del automóvil
- Batería de tracción eléctrica
- Batería de sistemas de emergencia
- Batería solar
- Batería de nivelación de equipos de demanda [RB2]



## 4 TRENES

Hablar de trenes es hacerlo de un sistema de transporte terrestre que circula sobre raíles y formado por locomotoras y vagones. La locomotora es la máquina que remolca los vagones mediante energía mecánica (vapor o gasóleo) o eléctrica. El término vagón o coche designa la estructura diseñada para transportar pasajeros o mercancías. La evolución del ferrocarril para el transporte de viajeros llevo rápidamente al desarrollo de los llamados trenes autopropulsados eléctricos o diesel en los cuales el elemento tractor y el vagón forman una unidad. Los trenes se pueden clasificar por la naturaleza de lo que transportan (pasajeros, mercancías, mixtos), por la longitud de su recorrido (urbanos, cercanías, regionales, largo recorrido), por criterios de velocidad o por la energía con la que se mueven.

### 4.1 TREN DE VAPOR

La máquina de vapor inventada para el uso industrial en 1712, la perfeccionó James Watt en 1769 para la industria textil, pero la primera máquina de vapor móvil, sobre una vía se expone en Londres en el 1808. George Stephenson (padre del ferrocarril) fue el artífice del primer tren para el servicio público el 27 de noviembre de 1825 con una locomotora de vapor que arrastró 28 vagones en su viaje inaugural. Pero, la primera locomotora que marcaría el inicio de estas máquinas fue un diseño de los hermanos Stephenson en 1829, la famosa "Rocket" que permitió remolcar un de 20 toneladas a 38km/h. A partir de ese momento las locomotoras de vapor irán evolucionando para ganar en potencia y velocidad. Durante la segunda mitad del siglo XX las locomotoras de vapor alcanzaban velocidades de 200 Km/ h para el servicio de viajeros y podían arrastrar mercancías con un peso de 7.000 toneladas. La tracción por vapor ha acompañado al tren más de 125 años. Hoy, en toda Europa solo se emplea en recorridos turísticos o nostálgicos; en cambio, en Asia aún son habituales. Solo en China circulan unas siete mil (un 60% de las locomotoras en activo).

### 4.2 TREN ELÉCTRICO

El primer tren eléctrico se pone en servicio en Alemania en el 1903 entre dos ciudades próximas a Berlín (Marienfeld y Zossen) en un tramo de 23,3 Km. La tecnología eléctrica representó un gran avance en el desarrollo del tren especialmente en líneas de cercanías y regionales. En 1905 se hacía la primera electrificación en el tren Barcelona Sarrià. Sin embargo, en España habrá que esperar a 1911 para electrificar un tramo del ferrocarril, de Linares a Almería, dadas las dificultades del recorrido y el gran tráfico que había de mineral de hierro. Las principales ventajas de los motores eléctricos son que podían arrastrar cargas mucho más pesadas, que nunca se quedaban sin combustible y que la fuente de energía era casi ilimitada. Por otro lado, son más silenciosas, no echan humo, tienen mayores prestaciones en cuanto a aceleración, velocidad y capacidad de carga. La electrificación encarecía la construcción de una línea, pero reducía el gasto de mantenimiento. La electrificación progresiva se inició a partir de los años 50 y con una tensión de 3.000 voltios en continua por ser más económica que las primeras de 1.500 voltios. Curiosamente, España mantiene una de las redes ferroviarias con un mayor porcentaje de electrificación de Europa (un 55%). A principios de los años 70, Francia ya había iniciado con éxito las primeras experiencias en alta velocidad con los trenes TGV que significaban la última revolución en el ámbito de los trenes eléctricos. La velocidad de crucero entre 300 y 350 Km/h los convierte en un rival

para la aviación a media distancia. El potencial de la alta velocidad se demostró el 18 de mayo de 1990 cuando se batió el récord de velocidad con un TGV circulando a 515,3 Km/h. La electrificación de estos trenes es en corriente alterna a 25.000voltios.

## 4.3 IMPACTO AMBIENTAL

### 4.3.1 IMPACTO SOBRE EL MEDIO NATURAL

El vapor en sí no genera impactos negativos sobre el medio natural, no obstante, para conseguir mucha potencia con el vapor hace falta hacer mucho fuego, es éste humo el que provoca la contaminación, mucha gente antiguamente asignaba al humo el símbolo del progreso.

Es conocida la imagen de los viejos túneles completamente negros, así como las entradas de los campos de concentración nazis como el de Auschwitz.

### 4.3.2 IMPACTO SOBRE EL MEDIO SOCIAL

La máquina de vapor fue sin duda uno de los avances tecnológicos que hicieron estallar la “Revolución Industrial”, gracias a esta máquina muchos trabajos que antes hacían las personas se automatizaron parcialmente y dejaron que la gente tuviera más tiempo libre y ocio. [RB6]



## 4.4 METRO DE MADRID

La red de Metro de Madrid la componen 12 líneas convencionales con 238 estaciones, el ramal que une Ópera y Príncipe Pío y las tres líneas existentes metro ligero que suman un total de 27,78 km y cuentan con 38 estaciones, de las que Metro de Madrid opera las 9 paradas de la línea ML1 de 5,4 km; la longitud total de la red es de 293 kilómetros.

### 4.4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En el Metro de Madrid, el radio mínimo de las curvas es de 90 m (excepto en las líneas de Metro Ligero) y la pendiente máxima de 5%. Las vías de los trenes son probadas con 54 kg/m y están directamente colocadas sobre hormigón (vía en placa) cuando el radio de la curva se reduce a 90 m, así como dentro de las estaciones, lo cual evita deformaciones de los raíles cuando son sometidos a rozamiento al frenar y, por tanto, a calor.

Comprende dos tipos de líneas dependiendo del gálibo o dimensiones de sus túneles (teniendo en cuenta que las líneas de Metro Ligero, no entrarían en ninguno de estos grupos por medidas ni características):

- Gálibo estrecho (líneas 1 a 5 y Ramal): los túneles son de 6,86 m de ancho y 5,36 m de altura, la mayor parte a poca profundidad del suelo y siguen en general el trazado de las calles. La distancia media entre estaciones es de 630 m. La longitud de los andenes de las estaciones varía entre los 60 m de las líneas 2, 4 y Ramal, en los que caben composiciones de trenes de hasta 4 coches, y los 90 m de las líneas 1, 3 y 5 en los que caben composiciones de hasta 6 coches. Los coches de los trenes que circulan por estas líneas tienen todas unas dimensiones de 2,30 m de ancho, entre 3,34 y 3,521 m de alto y 14,72 m de largo.
- Gálibo ancho (líneas 6 a 12): los túneles son de 7,74 m de ancho y 6,87 m de alto y están a gran profundidad, lo que ha permitido el empleo de tuneladoras para las líneas construidas a partir de 1990, cuyo diámetro se ha fijado en los 8,07 m. La distancia media entre estaciones es de 850 m. Los andenes de las estaciones de este tipo de líneas tienen entre 110 y 115 m de largo, salvo los andenes de las estaciones de los nuevos tramos de MetroNorte y MetroEste, de 90 m de largo, y están preparados para albergar composiciones de trenes de hasta 6 coches, cuyas dimensiones varían dependiendo de la serie a la que pertenezcan, aunque el ancho es siempre de 2,80 m para todas las series. Los andenes situados a más profundidad bajo la superficie son los de la línea 6 de Cuatro Caminos, a 49 m de profundidad.

## 4.4.2 ELECTRIFICACIÓN

Para las líneas construidas antes de 1999, o no reformadas para cambiar su tensión de alimentación, es de 600 Vcc, las 3 líneas de Metro Ligero funcionan como la mayoría de tranvías modernos, a 750 Vcc, y las líneas construidas a partir de 1999 o reformadas para cambiar su tensión de alimentación funcionan a 1.500 Vcc, tensión a la que trabajarán en el futuro las líneas que ahora lo hacen a 600 Vcc.

Tabla 6: Tensión de alimentación de las líneas de Metro de Madrid [RB14]

tensión	líneas
600 Vcc	1 4 5 6 9
750 Vcc	1 2 3
1500 Vcc	2 3 7 8 10 11 12 R

El conjunto de la circulación, control de instalaciones de estaciones, seguridad y energía está controlado desde un puesto central instalado en Alto del Arenal, existiendo varios centros de control de instalaciones de estaciones y control de seguridad como la de Metrosur, en el centro de Puerta del Sur.

Antiguamente la nave de motores de Pacífico solventaba las insuficiencias de electricidad, disponía de tres motores diésel que proporcionaban 5000 Kw a la red, se creó junto con la primera línea de metro y estuvo en servicio hasta 1972. Hoy en es una de las sedes de Andén 0 y se puede visitar libremente.

### 4.4.2.1 TIPOS DE CATENARIA

Las catenarias instaladas desde 1999 son rígidas (a excepción de los tramos en superficie de TFM), es decir, son un carril sólido colgado de la bóveda de los túneles, en lugar del típico hilo de cobre o aluminio. En los tramos anteriores a 1999 de las líneas de gálibo estrecho no reformados son de tipo tranviario (hilo) y son catenaria convencional las que se encuentran en tramos anteriores a 1999 (no reformados) de las líneas de gálibo ancho y los citados tramos nuevos en superficie. En el futuro todas las catenarias de los túneles serán remplazadas por este nuevo sistema patentado por Metro de Madrid; no así en los tramos en superficie, pues requiere muchos más apoyos y, por tanto, es más cara de instalar. En el caso de las líneas de Metro Ligero, la catenaria es de hilo al estilo tranviario en los tramos en superficie y rígida en los túneles.

En concreto la catenaria existente por tipos en las líneas de Metro convencional es la siguiente:

*Tabla 7: Tipos de catenaria por línea [RB14]*

tipo	tramos
Hilo (tranviaria)	<p><b>1</b> Plaza de Castilla – Miguel Hernández</p> <p><b>4</b> Argüelles – Esperanza</p> <p><b>5</b> Canillejas – Carabanchel y Campamento</p>
Convencional	<p><b>4</b> Esperanza – Mar de Cristal</p> <p><b>5</b> Carabanchel – Campamento y Casa de Campo</p> <p><b>9</b> Herrera Oria - Arganda del Rey</p> <p><b>10</b> Lago – Casa de Campo</p>
Rígida	<p><b>1</b> Plaza de Castilla – Pinar de Chamartín</p> <p><b>1</b> Miguel Hernández – Valdecarros</p> <p><b>2</b> entera</p> <p><b>3</b> entera</p> <p><b>4</b> Mar de Cristal – Pinar de Chamartín</p> <p><b>5</b> Canillejas – Alameda de Osuna</p> <p><b>6</b> entera</p> <p><b>7</b> entera</p> <p><b>8</b> entera (Excepto la estación de Aeropuerto T4)</p> <p><b>9</b> Mirasierra</p> <p><b>10</b> Hospital Infanta Sofía - Lago y Casa de Campo - Puerta del Sur</p> <p><b>11</b> entera</p> <p><b>12</b> entera</p> <p><b>R</b> entera</p>

### 4.4.3 PARQUE MÓVIL

Desde finales de 2004 la red de Metro de Madrid dispone de 1.550 coches en su parque móvil: 718 de gálibo estrecho y 832 de gálibo ancho. Las unidades que circulan actualmente por la red pertenecen a las siguientes series o tipos:

- Serie 2000 Líneas 1 y raramente 5. Composiciones MR-MR-MR
- Serie 2000b Línea 5. Composiciones MR-MR-MR
- Serie 3000 Líneas 2, 4 y Ramal. Composiciones MRSM; línea 3, composiciones MRSSRM.
- Serie 5000 Líneas 6 y 9. Composiciones MM-MM-MM
- Serie 6000 Línea 9. Composiciones MRM-MRM
- Serie 7000 Línea 10 entre Tres Olivos y Puerta del Sur. Composición MRSSRM.
- Serie 8000 Líneas 11 y 12 composición MRM; línea 8 composición MRSM.
- Serie 8400 Línea 6. Composición MRSSRM y MRSM\*
- Serie 9000 Línea 7 entre Pitis y Estadio Olímpico, composición MRSSRM. Línea 10 entre Tres Olivos y Hospital Infanta Sofía. Y línea 7 entre Estadio Olímpico y Hospital del Henares, composición MRM.

Cuando algunas líneas tienen falta de trenes, sobre todo en horas punta, se suelen traspasar unidades de otras líneas. A la línea 10 se suelen traspasar unidades de la serie 8000 procedentes de la línea 12 en doble composición MRM-MRM, o de la serie 9000 de la línea 7, mientras que la línea 6 se reforzaba con la serie 7000 y la serie 9000, hasta el accidente ocurrido en Moncloa, después de éste, los trenes de la serie 7000 y serie 9000 no pueden circular por la línea 6.

Las series 300 y 1000 circularon por las líneas de gálibo estrecho, pero fueron retiradas del servicio activo hace algunos años dada su antigüedad, aunque algunas de ellas, debidamente adaptadas, se utilizan para trabajos de mantenimiento de la red. Fueron fabricadas en las décadas de los 60 y 70 del siglo XX. Estuvieron prestando servicio en la línea 5 hasta junio de 2002. A partir de esa fecha fueron llegando los trenes de la serie 2000, en este caso la 2000 panda, un poco más tarde llegaron los 2000b (burbuja). La línea 5 fue la que más tiempo duró con los trenes de la serie 1000 y 300.

La mayor parte del parque móvil de Metro de Madrid está fabricada por CAF, en concreto las series 2000, 3000, 5000, 6000 y 8000. El resto de unidades, que componen las series 7000 y 9000, están fabricadas por la italiana AnsaldoBreda. Los tranvías Citadis del Metro Ligero fueron construidos por Alstom.

Las composiciones de Línea 12 pueden llegar a ser ampliadas a 6 coches como los existentes en Línea 10, ya que estos, ya sean 7000 o 9000, son composiciones de 3 coches, como en MetroEste (7), TFM (9) y MetroNorte (10). La línea 10 cuenta con una gran variedad de trenes, y es que tienen a la misma vez trenes de la serie 7000, 8000 y 9000.

Hay varios trenes de la serie 7000 y 9000 que son bitensión, es decir, que pueden circular a 600Vcc como a 1500Vcc de tensión. La serie 2000 burbuja tenía trenes especiales en la línea 8. Eran trenes que llevaban maleteros incorporados para recoger equipajes que ya hubieran sido facturados. La serie 8000 también tiene estos trenes en la línea 8 pero no recogen ya equipajes facturados y sin facturar. De vez en cuando suelen circular en la línea 12 trenes adaptados a la recogida de maletas. La serie 8000 cuenta con trenes de cuatro coches en composición MRSM que circulan en la línea 8 únicamente. La nueva

serie 8400 opera desde mayo de 2010 en la línea 6. Esta serie es totalmente distinta a todas las que circulan por las líneas de la red de Metro.

#### 4.4.4 DATOS DE INTERÉS

Hay varios tramos del metro que tienen un funcionamiento particular, la línea R o Ramal Ópera-Príncipe Pío une estas dos estaciones mediante 1,1 km, recorridos por una o dos unidades (en hora punta) de cuatro coches a modo de lanzadera. Ópera sólo tiene un andén que lo comparte con el de la línea 2 y Príncipe Pío también cuenta con un andén que es una ampliación del vestíbulo de entrada, y conecta directa y rápidamente las líneas 2 y 5 con la 10, la 6 y Cercanías RENFE en Príncipe Pío. Este tramo es uno de los más antiguos de la red, y suele ser lugar común de músicos que ajustan sus sonatas o canciones al tiempo del viaje.

### 4.5 RAMAL ÓPERA-PRÍNCIPE PÍO

El Ramal Ópera-Príncipe Pío del Metro de Madrid es una corta línea que une dichas estaciones, con andenes de 60 m, situadas en el distrito Centro de la ciudad a través de un túnel de 1,092 km de vía doble y gálibo estrecho.

Parte de la Plaza de Isabel II, y bajo la Plaza de Oriente y los jardines del Palacio Real, llamados del Moro, finaliza bajo el edificio frontal de la antigua Estación del Norte, junto a la Glorieta de San Vicente. Al constar sólo de dos paradas, en el ramal únicamente hay dos trenes circulando que se cruzan en el punto medio del recorrido. En la estación de Ópera hay un único andén cuya vía conecta con la de la línea 2, y que se bifurca en el túnel hacia Príncipe Pío, donde hay dos andenes unidos por su extremo terminal. Sin embargo, sólo una de las vías y su andén es utilizable, mientras que la otra vía se utiliza como cochera para estacionar el convoy. La línea estuvo cerrada desde el 15 de mayo hasta el 30 de agosto de 2010 por obras de mejora en el túnel y en sus instalaciones, incluyendo la reelectrificación a 1500 Vcc.

## 4.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

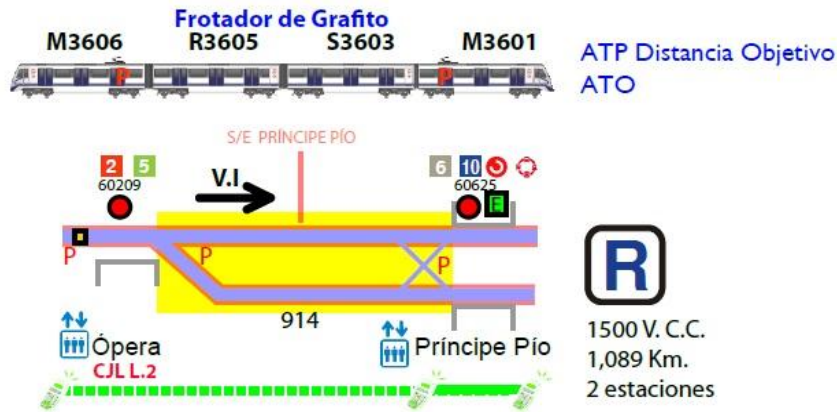


FIGURA 6: Plano esquemático Ramal Ópera-Príncipe Pío

## LEYENDA

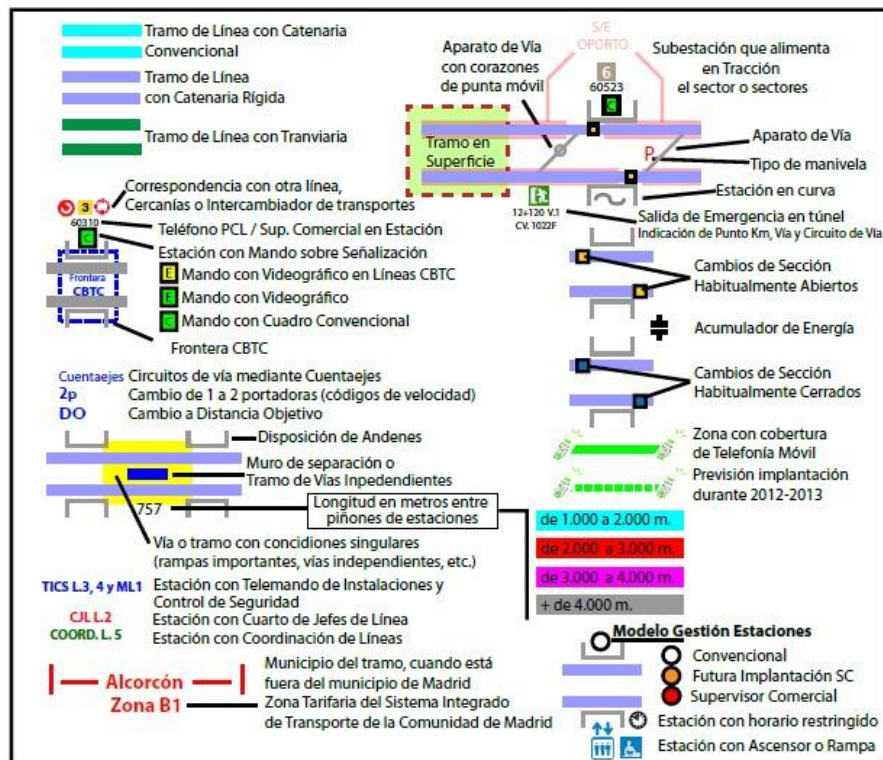


FIGURA 7: Leyenda, cómo interpretar Figura 6 [RB7]

*Tabla 8: Características generales del Ramal [RB14]*

Municipios cubiertos	Madrid
Apertura	27 de diciembre de 1925
Última ampliación	Nunca ampliada
Operada por	Metro de Madrid
Conducción	ATP 1 portadora - ATO
Electrificación	1.500 Vcc
Material móvil	3000 (CAF)
Material móvil anterior	2000
Estaciones	2
Gálibo	Estrecho
Andenes	60m
Longitud	1,1km

## 4.5.2 HISTORIA

Se abrió al público el 27 de diciembre de 1925, con su actual trayecto entre la Plaza de Isabel II y la Glorieta de San Vicente, como ramal de la línea 2 para conectar el centro de la ciudad con la entonces Estación del Norte, una de las principales vías de comunicación de la capital con el norte y oeste de la península, dado que al estar situada la estación en la ribera del río Manzanares, existía un desnivel importante entre ella y el centro de la ciudad, desde la que se descendía por la Cuesta de San Vicente.

Tras la proclamación de la II República el 14 de abril de 1931, las nuevas autoridades aprobaron por Decreto de 20 de abril la supresión de todas las denominaciones que hicieran referencia a la Monarquía. Por ello, el 24 de junio la estación de Isabel II pasó a denominarse «Ópera». Ese mismo año, la plaza también cambió su nombre por el del capitán Fermín Galán, uno de los responsables de la fallida sublevación que en 1930 trató de derrocar al rey Alfonso XIII. El 5 de junio de 1937 la estación volvería a cambiar su nombre a propuesta del Ayuntamiento para que este coincidiera con el de la plaza. Sin embargo, el establecimiento de la dictadura de Francisco Franco tras derrotar a las fuerzas republicanas en la Guerra Civil, supuso un nuevo cambio en las denominaciones de distintas calles, estaciones, etc. Por ello, en 1939 la plaza volvió a ser «de Isabel II», y la estación de metro recuperó el nombre de «Ópera» que lleva desde entonces.

Coincidiendo con la ampliación de la línea 6 que supuso su conclusión como circular, en mayo de 1995 la estación de Norte cambió su denominación por Príncipe Pío (por el monte situado tras la estación) y se remodeló y amplió, dotándola de un nuevo trasbordo con la línea 10 (aparte de la 6) bajo los andenes del ramal, abriéndose un amplio hueco en lo que en su día era la zona más terminal de los andenes superficiales de la vieja estación, y creándose un nuevo vestíbulo en el extremo opuesto de la estación a aquel en el que se situaba el ramal, facilitando la correspondencia con la red de Cercanías Madrid, dos de cuyas líneas paran en la estación. En 2007 se abrió en el antiguo patio de la estación el nuevo intercambiador, conectado con el vestíbulo de acceso a la estación colindante con los andenes del ramal, en lo que antes era una zona con varias marquesinas que hacían de terminal de varias líneas interurbanas del corredor de la Carretera de Extremadura.

### 4.5.3 RECORRIDO

La Ramal es una línea corta cuya única utilidad es la de facilitar los transbordos entre las líneas con las que conecta en sus dos estaciones. Conecta con:

- Línea 2 en la estación Ópera
- Línea 5 en la estación Ópera
- Línea 6 en la estación Príncipe Pío
- Línea 10 en la estación Príncipe Pío
- Cercanías Renfe Madrid en la estación Príncipe Pío
- Autobuses interurbanos del corredor 5 en la estación Príncipe Pío

### 4.5.4 MATERIAL MÓVIL

El material móvil lo componen trenes de la serie 3000. Al tener su única conexión de vías con la línea 2, el material móvil que utilice el Ramal depende del que utilice esa línea. Hasta hace poco, se utilizaban los serie 2000 y también los 2000 "preseries", prototipos de la serie. Actualmente, éstos están retirados y ya no se utilizan. A partir del 30 de agosto de 2010, debido a la reforma a la que ha sido sometida esta línea, dejan de circular los trenes de la serie 2000 para circular únicamente trenes de la serie 3000.

### 4.5.5 OPERACIÓN

El sistema de gestión de Metro de Madrid, la opera como línea 13 de la red.



#### 4.5.6 CARACTERÍSTICAS DE TRENES 3000 QUE CIRCULAN POR RAMAL



FIGURA 8: Coche tipo 3000

Longitud total de la Unidad de Tren	89,38 m
Longitud total Coche Motor	14,79 m
Longitud total Coche Motor sin Cabina	13,80 m
Longitud total Coche Remolque	13,80 m
Ancho de Vía	1.445 mm
Altura mínima Catenaria	3.600 mm
Altura máxima Catenaria	4.470 mm
Anchura exterior en cintura	2.300 mm
Peso nominal de la Unidad	163 Tm
Tensión de alimentación nominal	1.500 Vcc
Potencia total de la Unidad	3.040 kW
Altura de piso	1.110 mm
Estructura de caja	Aluminio
Puertas de viajeros por costado	18
Número de asientos por Unidad	136
Aceleración máxima	1.12 m/s <sup>2</sup>
Deceleración de servicio	1.0 m/s <sup>2</sup>
Velocidad máxima de servicio	80 km/h

[RB8]

## 4.5.7 OTROS DATOS DEL TREN

### 4.5.7.1 MATERIAL MÓVIL SERIE 3000 (I)

---

La serie de trenes modelo 3000, está formada por dos subseries:

- Unidades de seis coches: MRSSRM, monotensión a 1500 Vcc y destinadas a línea 3.
- Unidades de cuatro coches: MRSM, bitensión 600/1500 Vcc y destinadas a línea2/R y línea 4.

La caja de las unidades 3000 está construida en aluminio, incluyendo el bastidor, con tres puertas por costado para acceso de viajeros, del tipo desplazable-deslizante IFE, con accionamiento mediante motores eléctricos. Los coches poseen pasillo de intercurrencia Hübner entre todos ellos, formando una composición interiormente continua. También se encuentran dotados de dispositivos anti-climber en los testeros extremos de la unidad.

### 4.5.7.2 MATERIAL MÓVIL SERIE 3000 (II)

---

El equipo de tracción es trifásico con ondulatorios directos de red y componentes de potencia IGBT. El control de este equipo se efectúa mediante un regulador de marcha dotado de microprocesadores. El frenado de servicio es mixto reostático y regenerativo, y el freno neumático es Knorr, así como el compresor de aire.

Las unidades 3000 están dotadas de: aire acondicionado con calefacción, equipo de control de sistemas auxiliares, equipo de registro de los parámetros de seguridad durante la marcha, sistema de información al viajero, sistema de videovigilancia, sistema de megafonía y radiotelefonía y sistemas de protección de tren (ATP) y de conducción automática (ATO).

Se encuentran adaptados para el acceso de personas con movilidad reducida, pues disponen de: rampas escamoteables, apertura automática, espacio reservado para silla de ruedas, señalización óptica y acústica, contraste cromático de las puertas y del recinto de viajeros.

### 4.5.7.3 MATERIAL MÓVIL SERIE 3000 (III)

---

Los bogies de estos coches 3000 han sido diseñados y fabricados por CAF, teniendo una distancia entre ejes de 2120 mm., con tipo de rueda elástica CAF de diseño reforzado, existen bogies motores y remolques, siendo iguales salvo en lo relativo a los dispositivos de motorización y transmisión. El bastidor del bogie tiene forma de H abierta por los cabeceros, con los largueros principales en forma de ala de gaviota. La suspensión primaria es de campanas de caucho, y la secundaria es neumática. El bogie motor tiene dos motores de tracción, trifásicos asíncronos, con rotor en jaula de ardilla, construidos por Siemens, estos motores de tracción van colocados en posición longitudinal, colocados uno al lado del otro. [RB9]

## 5 BATERÍA MRX200x80

### 5.1 FUNCIONES Y UBICACIÓN.

Las baterías MRX200 x80 están instaladas por debajo del bastidor. Cada batería suministra 110 Vcc.

La batería proporciona energía de reserva en caso de emergencia para los sistemas eléctricos de seguridad y auxiliares, incluidos el alumbrado, la señalización, las comunicaciones, control de puerta, control de frenado y manejo. La batería también está conectada al cargador de batería.

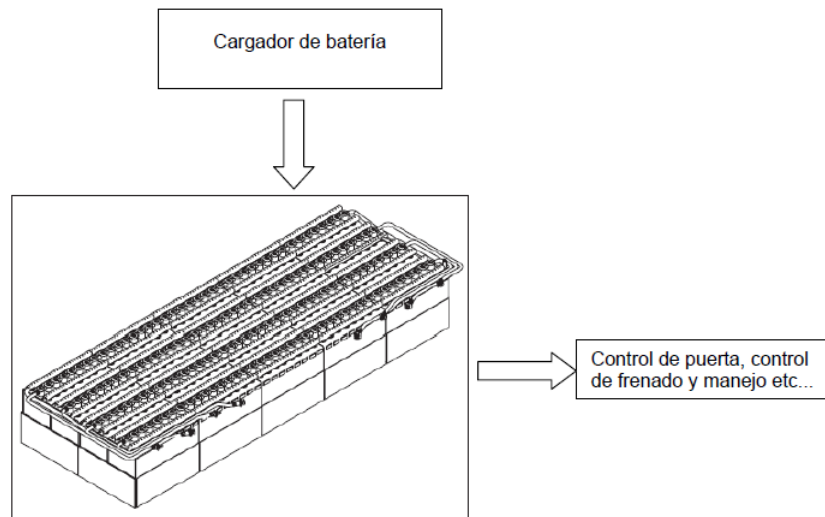


FIGURA 9: Funciones y ubicación de la batería MRX200x80

La batería tiene principalmente dos funciones:

Cuando no funcione el generador o convertidor, la batería tiene la finalidad de suministrar corriente de baja, es decir 110 voltios y 24 voltios, para los distintos circuitos eléctricos de la unidad que funcionan a esas tensiones.

También la batería es necesaria para poner el tren en servicio cuando éste está fuera de servicio. Por ello, para la conexión previa de la propia batería, utiliza unos hilos que siempre tienen tensión llamados positivo y negativo previos. Estos alimentan la orden de conexión de la propia batería, de forma que al pulsar el "CON" de batería se excita el conector de batería.

A través de sus contactos, el contactor de batería alimenta al hilo 1000 que se encargará de suministrar 110 voltios a toda la unidad, así como también se establece el retorno del negativo a batería a través del hilo 900.

➤ Generador o convertidor (depende de la serie del coche): se sitúa bajo el bastidor y es el encargado de transformar la corriente de 1500 Vcc procedente del hilo de trabajo a las tensiones de funcionamiento de los equipos auxiliares de la unidad tren, es decir, 110 Vcc y 24 Vcc. También es el encargado de recargar las baterías.

#### 110 V corriente continua

- Circuito de accionamiento de pantógrafos
- Circuito de mando y seguridad de puertas
- Circuito de alumbrado de socorro o emergencia
- Circuito de timbres de alarma
- Circuito de accionamiento de freno de estacionamiento
- Circuito de luz cabina
- Circuito de silbato de vía y salida
- Circuito del motor-compresor auxiliar
- Circuito de excitación del contactor del motor-generador
- Circuito de excitación del contactor del motor-compresor
- Circuito de excitación del contactor de aspiradores
- Circuito del hilo de lazo
- Circuito de accionamiento de baterías

#### 24 V corriente continua

- Circuito de faros y pilotos
- Circuito de megafonía
- Circuito de telefonía
- Circuito de antivaho
- Circuito de averías
- Luces de pulsadores
- Circuito de desconexión de cargas en alta

## 5.2 COMPONENTES

### 5.2.1 BATERÍA MRX200 x80

La batería MRX200 x80 sólo consta de bloques equipados 20 MRX200-4 +L.

Los bloques MRX están constituidos de una cubierta de polipropileno ignífugado, y provistos de un sistema de incorporado de llenado de agua.

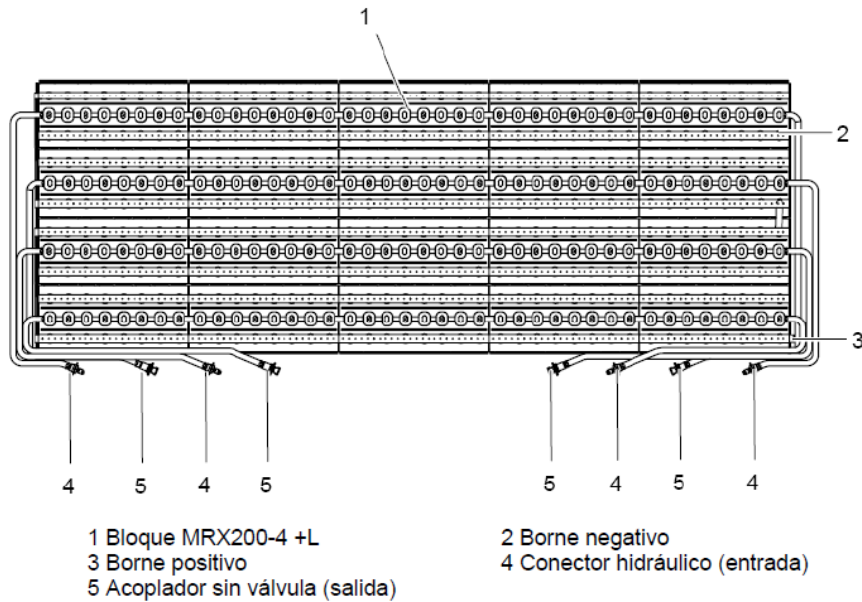


FIGURA 10: Partes de la batería MRX200x80

### 5.2.2 CONEXIONES

Los bloques de la batería están conectados en serie mediante conexiones rígidas fijadas con tornillos HM8-20 y arandelas de acero inoxidable.

Existen 4 tipos de conexión:

- Las conexiones rígidas y rectas 8 18x3 E69 CU (1 en las baterías MRX200 x80)
- Las conexiones rígidas especiales 8 18x3 E268,5 CU (2 en las baterías MRX200 x80)
- Las conexiones rígidas y rectas 8 18x3 E51 CU (16 en las baterías MRX200 x80)
- Las conexiones rígidas de salida 18x3 (1 por batería MRX200 x80)

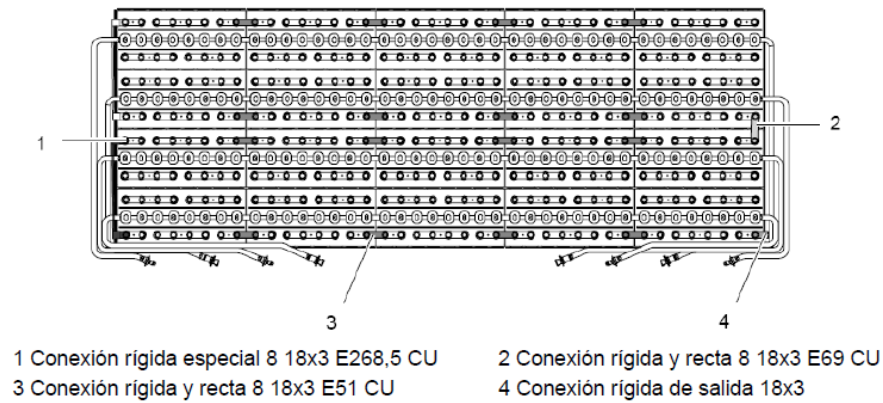


FIGURA 11: Conexiones de la batería MRX200x80

### 5.2.3 CIRCUITO DE LLENADO

La batería MRX200 x80 consta de cuatro sistemas de llenado de agua.

Cada sistema centralizado de llenado de agua integrado en los bloques de la batería permite ajustar el nivel del electrolito de todos los bloques desde un depósito central.

La batería está provista de 4 conectores hidráulicos, que permiten el llenado de agua, y de cuatro acopladores sin válvula, que garantizan la evacuación del agua.

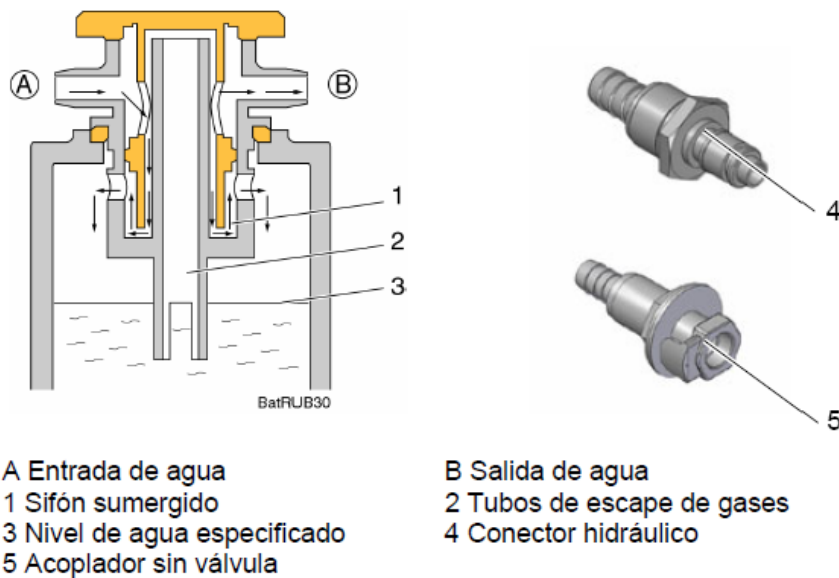


FIGURA 12: Circuito de llenado de la batería MRX200x80

## 5.3 FUNCIONAMIENTO

### 5.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las baterías son sistemas electroquímicos utilizados para proporcionar energía a los equipos eléctricos y electrónicos. La energía eléctrica se produce directamente por reacciones químicas que se producen dentro de la batería. La cantidad de la energía eléctrica disponible depende del potencial y de la eficacia inherente de las reacciones electroquímicas, así como de la cantidad de materia activa en una batería.

El elemento níquel-cadmio es un sistema electroquímico en el que los electrodos con las materias activas cambian de estado de oxidación pero no de estado físico. Dichas materias activas son muy poco solubles en un electrolito alcalino. Permanecen sólidas y no se disuelven cuando cambian de estado de oxidación. Por consiguiente, no hay ningún mecanismo químico que pueda estropear las materias activas.

Durante las operaciones de carga y descarga de elementos, los iones hidróxidos atraviesan el electrolito del borne positivo al borne negativo. La solución alcalina KOH (electrolito) se utiliza únicamente como medio de transferencia. No participa en la reacción electroquímica.

Siendo su papel pasivo, el electrolito contenido en un elemento níquel-cadmio nunca está afectado por el estado de la carga del elemento.

### 5.3.2 ACTIVACIÓN

No hay ningún interruptor para activar o desactivar la batería.

La batería será activa tras ser instalada por debajo del bastidor y conectada al cargador de batería y a las cargas.

### 5.3.3 DESACTIVACIÓN

Como la batería no está provista de un interruptor, sólo se puede desactivar desconectándola del cargador de baterías y de sus cargas.

Desconectar los cables de alimentación de los bornes positivos y negativos de la batería.

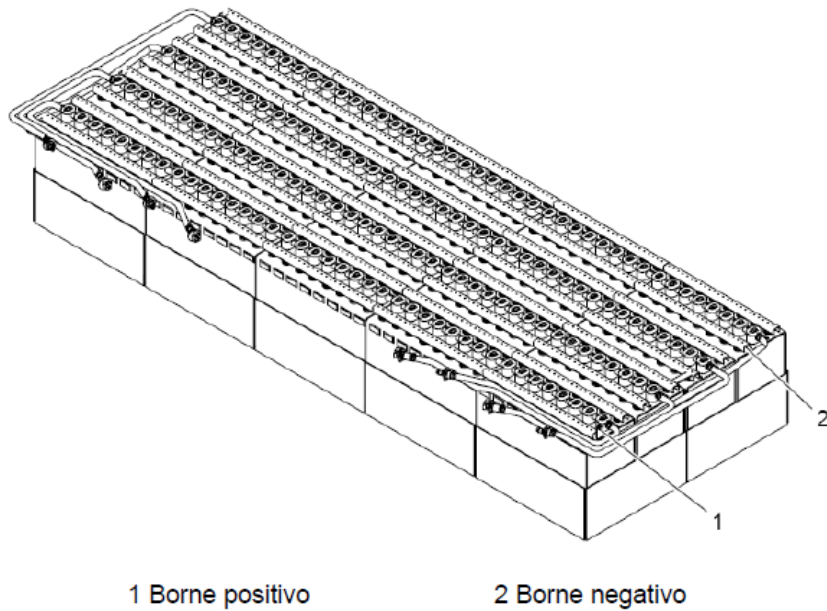


FIGURA 13: Bornes para activación/desactivación de la batería MRX200x80

## 5.4 CARACTERÍSTICAS

### 5.4.1 DIMENSIONES Y PESO

Batería MRX200 x80

Dimensiones: Ver figura 14

Peso: 613 Kg.

Número de elementos: 80

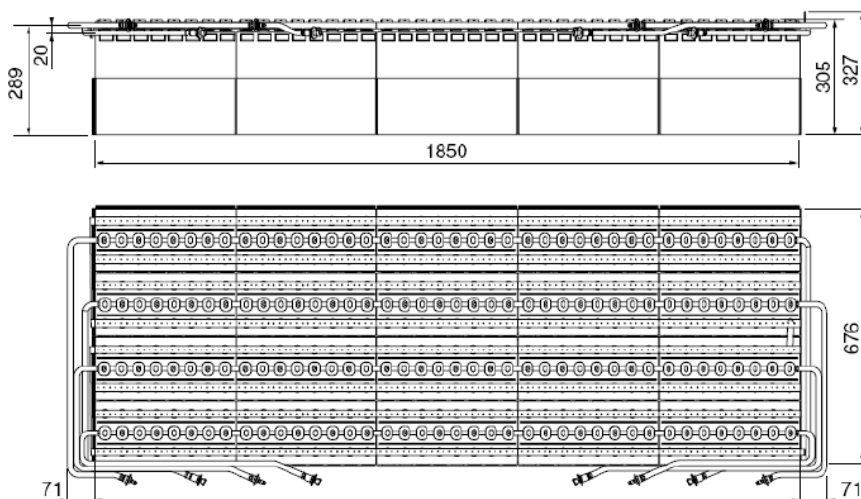


FIGURA 14: Dimensiones de la batería MRX200x80



## 5.4.2 DATOS ELÉCTRICOS RELATIVOS A LA BATERÍA MRX200 x80

Tensión nominal:	.....	110 Vcc
Tensión máxima:	.....	116 Vcc
Tensión mínima:	.....	77 Vcc
Capacidad (C <sub>5</sub> A):	.....	200 Ah
Tipo de bornes:	.....	M 8
Tensión de carga:	.....	1,45 (V) por bloque (116 V)

**[RB10]**



## 6 COMPONENTES MÁS USUALES EN BATERÍAS DE COCHES 3000

### 6.1 NÍQUEL

TABLA 9: Características del Níquel [RW2]

Nombre	Níquel
Número atómico	28
Valencia	2, 3
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,8
Radio covalente (Å)	1,21
Radio iónico (Å)	0,78
Radio atómico (Å)	1,24
Configuración electrónica	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
Primer potencial de ionización (eV)	7,68
Masa atómica (g/mol)	58,71
Densidad (g/ml)	8,9
Punto de ebullición (°C)	2730
Punto de fusión (°C)	1453

Símbolo Ni, número atómico 28, metal duro, blanco plateado, dúctil, maleable. La masa atómica del níquel presente en la naturaleza es 58,71.

La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión. También es importante en monedas como sustituto de la plata. El níquel finamente dividido se emplea como catalizador de hidrogenación.

El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre. El níquel se presenta en pequeñas cantidades en plantas y animales. Está presente en pequeñas cantidades en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón.

El níquel metálico es fuerte y duro. Cuando está finamente dividido, es de color negro. Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes, pero los alambres muy finos pueden incendiarse. Está por encima del hidrógeno en la serie electroquímica; se disuelve con lentitud en ácidos diluidos liberando hidrógeno. En forma metálica es un agente reductor fuerte.

### 6.1.1 EFECTOS DEL NÍQUEL SOBRE LA SALUD

La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería.

Los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel. El chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades. El níquel es tomado y este aumentará cuando la gente come grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Es conocido que las plantas acumulan níquel y como resultado la toma de níquel de los vegetales será eminente. Los fumadores tienen un alto grado de exposición al níquel a través de sus pulmones. Finalmente, el níquel puede ser encontrado en detergentes. Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer comida o fumar cigarrillos. El contacto de la piel con suelo contaminado por níquel o agua puede también resultar en la exposición al níquel. En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades este puede ser peligroso para la salud humana.

La toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias:

- Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.
- Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel
- Embolia de pulmón.
- Fallos respiratorios.
- Defectos de nacimiento.
- Asma y bronquitis crónica.
- Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas.
- Desordenes del corazón

### 6.1.2 EFECTOS AMBIENTALES DEL NÍQUEL

El níquel es liberado al aire por las plantas de energía y las incineradoras de basuras. Este se depositará en el suelo o caerá después de reaccionar con las gotas de lluvia. Usualmente lleva un largo periodo de tiempo para que el níquel sea eliminado del aire. El níquel puede también terminar en la superficie del agua cuando es parte de las aguas residuales. La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse. En suelos ácidos, el níquel se une para llegar a ser más móvil y a menudo alcanza el agua subterránea.

No hay mucha más información disponible sobre los efectos del níquel sobre los organismos y los humanos. Sabemos que altas concentraciones de níquel en suelos arenosos puede claramente dañar a las plantas y altas concentraciones de níquel en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas. Microorganismos pueden también sufrir una disminución del crecimiento debido a la presencia de níquel, pero ellos usualmente desarrollan resistencia al níquel. Para los animales el níquel, es un elemento esencial en pequeñas cantidades. Pero el níquel no es sólo favorable como elemento esencial; puede ser también peligroso cuando se excede la máxima cantidad tolerable. Esto puede causar varios tipos de cánceres en diferentes lugares de los cuerpos de los animales, mayormente en aquellos que viven cerca de refinerías. No es conocido que el níquel se acumule en plantas o animales. Como resultado el níquel no se biomagnifica en la cadena alimentaria. [RW2]

## 6.2 CADMIO

TABLA 10: Características del Cadmio [RW3]

Nombre	Cadmio
Número atómico	48
Valencia	2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,7
Radio covalente (Å)	1,48
Radio iónico (Å)	0,97
Radio atómico (Å)	1,54
Configuración electrónica	[Kr] 4d10 5s2
Primer potencial de ionización (eV)	9,03
Masa atómica (g/mol)	112,40
Densidad (g/ml)	8,65
Punto de ebullición (°C)	765
Punto de fusión (°C)	320,9

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño.

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, los cuales por lo general contienen de 0.2 a 0.4%. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son fuentes importantes, aunque no todos son productores.

En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Se recurre a cantidades apreciables en aleaciones de bajo punto de fusión semejantes a las del metal de Wood, en rociadoras automáticas contra el fuego y en cantidad menor, en aleaciones de latón (latón), soldaduras y cojinetes. Los compuestos de cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de cadmio fosforado. Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares.

### 6.2.1 EFECTOS DEL CADMIO SOBRE LA SALUD

El cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el zinc. El cadmio también consiste en las industrias como inevitable subproducto del zinc, plomo y cobre extracciones. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas.

La toma por los humanos de cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de cadmio en los humanos. Ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

Una exposición a niveles significativamente altas ocurren cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del cadmio que está ya presente por comer comida rica en cadmio. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal. Cuando la gente respira el cadmio este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer

### 6.2.2 EFECTOS AMBIENTALES DEL CADMIO

De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

El cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

El cadmio es fuertemente absorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida se puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de cadmio en sus riñones debido a esto.

Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por cadmio. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de cadmio en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo.

En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro. [RW3]



## 6.3 PLOMO

TABLA 11: Características del Plomo [RW4]

Nombre	Plomo
Número atómico	82
Valencia	2, 4
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,9
Radio covalente (Å)	1,47
Radio iónico (Å)	1,20
Radio atómico (Å)	1,75
Configuración electrónica	[Xe] 4f <sup>14</sup> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>
Primer potencial de ionización (eV)	7,46
Masa atómica (g/mol)	207,19
Densidad (g/ml)	11,4
Punto de ebullición (°C)	1725
Punto de fusión (°C)	327,4

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos.

Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud de la aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolores de cabeza, vértigo e insomnio. En los casos agudos, por lo común se presenta estupor, el cual progresa hasta el coma y termina en la muerte. El control médico de los empleados que se encuentren relacionados con el uso de plomo comprende pruebas clínicas de los niveles de este elemento en la sangre y en la orina. Con un

control de este tipo y la aplicación apropiada de control de ingeniería, el envenenamiento industrial causado por el plomo puede evitarse por completo.

El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galeana, los otros minerales de importancia comercial son el carbonato, cerusita, y el sulfato, anglesita, que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Los minerales comerciales pueden contener tan poco plomo como el 3%, pero lo más común es un contenido de poco más o menos el 10%. Los minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40% o más antes de fundirse.

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilplomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones.

Durante mucho tiempo se ha empleado el plomo como pantalla protectora para las máquinas de rayos X. En virtud de las aplicaciones cada vez más amplias de la energía atómica, se han vuelto cada vez más importantes las aplicaciones del plomo como blindaje contra la radiación.

Su utilización como forro para cables de teléfono y de televisión sigue siendo una forma de empleo adecuada para el plomo. La ductilidad única del plomo lo hace particularmente apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de los conductores internos.

### 6.3.1 EFECTOS DEL PLOMO SOBRE LA SALUD

El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 adC para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de plomo. El humo de los cigarros también contiene pequeñas cantidades de plomo.

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de Ph en agua que sirve para el uso del agua potable. Que se sepa, el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Abortos
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro

- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

### 6.3.2 EFECTOS AMBIENTALES DEL PLOMO

El plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas tiene lugar un ciclo no natural del plomo. En los motores de los coches el plomo es quemado, eso genera sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos).

Estas sales de plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo. Este ha causado contaminación por plomo haciéndolo en un tema mundial no sólo la gasolina con plomo causa concentración de plomo en el ambiente. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen.

El plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen plomo. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos.

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente.

El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias. [RW4]



# 7 VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS

## 7.1 COCHE DE COMBUSTIÓN

El motor es el suministrador de energía que, mediante los conjuntos de transmisión, hace llegar su giro a las ruedas para el desplazamiento del vehículo.

El motor de los automóviles es de combustión interna, ya que el combustible (ya sea gasolina o gasóleo) es quemado dentro de él. Un ejemplo de combustión externa es la máquina de vapor, porque el combustible se quema en una caldera aparte.

El motor necesita de un sistema de alimentación que haga llegar el combustible a su interior, en condiciones de ser quemado.

Los motores de gasolina disponen, además, de un sistema de encendido para iniciar la combustión.

Como consecuencia de las altas temperaturas producidas en el interior del motor, es necesario un circuito de refrigeración del mismo.

El motor está compuesto por gran cantidad de piezas metálicas que giran o se deslizan entre sí. Para que no haya contacto entre metal y metal, se interpone una película de aceite entre ellas. El encargado de mantener esta película es el sistema de lubricación.

El compuesto químico esencial para el funcionamiento de los motores de vehículos automotrices es el combustible o carburante.

Un combustible es, en sentido general, cualquier material que se pueda quemar para obtener inicialmente energía calorífica. Esta definición abarca una gran cantidad de sustancias, desde el papel o la leña, hasta el butano o el carbón.

### 7.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

#### 7.1.1.1 PETRÓLEO

---

El petróleo tal y como es extraído recibe el nombre de crudo, que tiene poca utilidad como combustible.

El petróleo crudo es sometido a un proceso de refinado, con el que se le eliminan impurezas y se obtienen diferentes compuestos según el grado de destilación al que se le somete. Los compuestos derivados del petróleo son hidrocarburos, de composición y forma muy variadas.

El término hidrocarburo significa hidrógeno-carbono: sustancia química formada principalmente por hidrógeno y carbono.

La gasolina, el gasóleo, el gas natural, el queroseno, la parafina, el butano, el propano, el fuelóleo, etc., son hidrocarburos o mezclas de hidrocarburos.

Dos características esenciales de los combustibles hidrocarburos líquidos son su facilidad para la combustión y su volatilidad (facilidad para evaporarse en el aire a temperatura ambiente).

### 7.1.1.2 GASOLINA

---

El combustible empleado en los motores de explosión es la gasolina: combustible líquido formado por una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo mediante destilación.

La gasolina para motores de automóviles es un derivado del petróleo formado por una mezcla de hidrocarburos destilados entre los 38 y los 220°C. Se trata pues de un combustible líquido de alta volatilidad, sobretodo si se tiene en cuenta que en dicha mezcla predominan los hidrocarburos destilados alrededor de los 50°C. A ello se debe que la gasolina se evapore más fácilmente que el agua.

Los hidrocarburos que forman la gasolina son en su mayor parte hexacarbonados, es decir, formados por seis átomos de carbono, con distintas cantidades de átomos de hidrógeno; mezclados con otros hidrocarburos cuya cantidad de carbonos va de cuatro a doce.

### 7.1.1.3 GASÓLEO

---

El combustible empleado en los motores que funcionan con el ciclo diesel, tanto para turismos como para vehículos pesados, es el gasóleo o gas-oil.

En el proceso de refinado y destilación del petróleo, tras la gasolina, se obtiene queroseno, que destila entre los 150 y los 300°C. Tras el queroseno se obtiene el gasóleo, compuesto por hidrocarburos que destilan entre los 230 y los 380°C, entre ellos algunos de los que también forman parte del queroseno.

El gasóleo es una mezcla de hidrocarburos, con unas moléculas mas pesadas que las de la gasolina, ya que están compuestas por un mayor número de átomos de carbono (entre 14 y 20 átomos).

El gasóleo no empieza a arder hasta pasados los 75°C y, de forma homogénea y continuada hasta cerca de los 100°C.

La temperatura a la que un combustible arde espontáneamente se llama punto de encendido, que varía con la presión. El gasóleo, a presión atmosférica, necesita para autoencenderse temperaturas cercanas a los 400°C, mientras que con una presión de 30 kgf/cm<sup>2</sup> (presión de compresión) solo precisa 206°C. Estas temperaturas de autoencendido son realmente bajas en comparación con las de otros combustibles, lo que hace del gasóleo un combustible muy adecuado para los motores diesel. [RB11]

## 7.2 HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS ELÉCTRICOS

En 1997, Toyota Motor Company lanzó los vehículos híbridos eléctricos (VHE) en el mercado mundial, seguido por Nissan y Honda unos años más tarde. Eran muy populares debido al buen precio del combustible y el creciente interés mundial en el tema del medio ambiente. Por lo tanto, los fabricantes de automóviles en todo el mundo aceleraron su investigación y desarrollo (I+D) en la tecnología de vehículo eléctrico híbrido (VHE). A pesar de que las baterías usadas para VHE por Toyota y Honda son de níquel-metal hidruro (Ni-MH) y son las principales baterías en la actualidad, la presión en el desarrollo no está en el Ni-MH sino en el litio debido a las mejores características en potencia, peso o generación de calor que para Ni-MH.

Hay muchas variedades en la tecnología de VHE, ya que sólo depende del concepto de diseño.

En los siguientes apartados, se dará brevemente una visión general del estado de desarrollo de las baterías de litio de gran tamaño para la aplicación en VHE.

### 7.2.1 FUERA DE JAPÓN

En los Estados Unidos existe un proyecto nacional bien organizado, que integra todos los recursos nacionales para el desarrollo de tecnologías avanzadas de baterías. SAFT es el único fabricante responsable de la producción de la batería VHE en el proyecto. La característica más sobresaliente de la batería es el material a base de níquel del electrodo positivo. La densidad de potencia es de 1400 W / kg y tiene una vida natural prevista de más de 15 años. Se espera que la comercialización de esta prometedora tecnología se convierta en éxito muy pronto.

En Corea, Samsung y LG, los principales fabricantes de baterías de ion-litio (Li-Ion) para aplicaciones en productos de consumo doméstico, se han interesado también en aplicaciones para vehículos y se han presentado varios proyectos. En los trabajos de LG, la batería se presenta como una batería de polímero de litio con química de manganeso y grafito. Cabe destacar también que presentan un diseño de módulo de batería y se espera su desarrollo. [RB4]

### 7.2.2 DENTRO DE JAPÓN

Además de Hitachi / Shin-Kobe, la batería de almacenamiento de Japón está, de manera muy activa, en desarrollo para una batería de VHE. Se puso en marcha una batería de iones de litio para un vehículo VHE de Mitsubishi Motor Co. en 2002. La característica de su batería es el material basado en manganeso para el electrodo positivo. Los miembros del proyecto nacional para la aplicación del vehículo de pila de combustible son Panasonic, los laboratorios nacionales, universidades, empresas privadas, y los desarrolladores de tecnología avanzada. La energía sinérgica de este proyecto se espera que acelere su desarrollo.

#### ➤ Hitachi/Shin-Kobe

El material del electrodo activo utilizado en la batería VHE es una espina de litio-manganeso parcialmente sustituido el manganeso con litio, para el material positivo del electrodo-activo, y de grafito, lo que da un perfil de tensión gradualmente decreciente, para el material del electrodo-activo negativo. La carga de las baterías VHE no es una carga o descarga continua sino pulsos frecuentes de pequeña anchura. La energía para conducir un vehículo se almacena en un depósito de combustible, por

lo tanto, la batería no debe ser una pila de energía de alta densidad de energía sino una batería de alimentación de alta densidad de potencia. Para hacer frente a la demanda de rendimiento de alta densidad de energía, la medida más eficaz es la reducción de la resistencia interna de la célula. Es el más eficaz para hacer al electrodo más fino que para otras aplicaciones. El electrodo más delgado no sólo aumenta el área de los electrodos para disminuir la densidad de corriente, sino también hace que la distancia entre los electrodos sea más corta, lo que también reduce la resistencia. [RB4]

## 7.3 MÓDULO DE BATERÍA

El módulo consiste en 48 celdas conectadas en serie, 6 celdas de control, un fusible y una carcasa que encierra todas las partes. La celda de control es un circuito impreso que incluye un microcontrolador para detectar tensiones individuales de celdas, las temperaturas en la caja y para transmitir los resultados a un ordenador de nivel superior, que se encuentra en el vehículo que controla el estado de carga de la celda.

Como se mencionó anteriormente, la generación de calor para la batería es pequeña, por lo tanto, el módulo de batería puede ser enfriado por aire. En la parte superior de la carcasa de módulo se enfrían las entradas y salidas de aire.

A medida que la intensidad de alimentación de salida / entrada para el módulo es de 12,5 kW y 8 kW, podemos utilizar el módulo de entre el 15 y el 90% del estado de carga. Este de ancho útil de estado de carga muestra la capacidad de suministrar o recibir energía en casi cualquier momento y permite que la batería tenga una gran capacidad de alimentación y la regeneración. Por lo tanto, se espera que el combustible de alta eficiencia durante la aplicación en vehículos híbridos eléctricos deba contribuir a la solución de la problemática ambiental global, que es el principal propósito de desarrollar el sistema de vehículo híbrido eléctrico para automóviles.

El desarrollo de las baterías de Li-Ion a base de manganeso de alta densidad de potencia para la aplicación de VHE se está utilizando en el híbrido de Nissan Tino ya lanzado en el mercado. Si la tecnología puede afinar aún más y aumenta la producción, el costo se espera que baje, del mismo modo que el tamaño de las baterías de ion-litio, como se ha demostrado, para los productos de consumo doméstico. El precio es mas bajo para las baterías de litio a base de manganeso debido al menor precio de las materias primas. Las aplicaciones de este tipo de baterías no sólo son prometedoras en VHE y sistemas de asistencia a la conducción, si no también a otras fuentes de energía a juzgar por las características superiores de la tecnología de batería de litio. [RB4]

## 7.4 PERSPECTIVAS DE FUTURO

Aunque la batería de Ion-Litio para su aplicación en vehículos híbridos eléctricos aun tiene poca experiencia en el mercado real, la actividad de investigación y desarrollo (I+D) es muy dinámica en todo el mundo presente. Este hecho refleja sin duda el reconocimiento común de que la tecnología es uno de los más prometedores avances para la batería de vehículos híbridos eléctricos de la próxima generación. Algunas aplicaciones ya desarrolladas con éxito son la bicicleta con batería de potencia asistida de Panasonic desarrollada en 2002, una scooter eléctrica de Yamaha también en 2002 o un sistema de stop & start de ralentí para Toyota Vitz desarrollado en 2003. Aunque la tecnología de estas aplicaciones no es exactamente la misma que para los vehículos híbridos eléctricos, el desarrollo de estas aplicaciones ayudará a acelerar la evolución de la tecnología de las baterías de alta potencia de ion-litio. [RB4]



## 7.5 APLICACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE LAS BATERÍAS ION LITIO EN COCHE ELÉCTRICO - PEUGEOT iOn

### 7.5.1 IMPACTO EMISIÓN CO<sub>2</sub>



FIGURA 15: Estado de carga de la batería del Peugeot iOn

En este contexto de creciente preocupación medioambiental, Peugeot demuestra una vez más su capacidad de crear y adaptar su oferta de movilidad en función de las necesidades.

Especialmente por su nula producción de CO<sub>2</sub> en fase de rodaje, el Peugeot iOn ha obtenido el Gran Premio Auto Medio Ambiente 2010, trofeo instituido por MAAF Assurances que recompensa a los vehículos y tecnologías puestos en marcha para proteger el medio ambiente.

### 7.5.2 AHORRO



FIGURA 16: Vista frontal del Peugeot iOn

Con un coste de uso comprendido entre 1,50€ y 2€ por cada 100Km, la factura energética iOn es mas barata que la de un vehículo térmico, con independencia de cual sea el modo de recarga utilizado.

Efectuadas de noche o “en horas valle”, las recargas disminuyen la factura y optimizan el uso de las capacidades de producción instaladas de las empresas proveedoras de electricidad.

### 7.5.3 FUNCIONAMIENTO DE LA BATERÍA



FIGURA 17: Funcionamiento de la batería del Peugeot iOn

El Peugeot iOn equipado con una batería de Litio-ion con capacidad de almacenamiento de energía bastante superior a las antiguas baterías de Ni-Cd empleadas en los años 90.

Esta batería no tiene efecto memoria. Puede recargarse incluso parcialmente lleva sin necesidad de proceder periódicamente a descargas completas.

### 7.5.4 SEGURIDAD

Gracias a la arquitectura elevada, el conjunto de elementos componentes de la batería ha encontrado sitio bajo el piso, entre ambos ejes, lo que contribuye a una buena estabilidad dinámica.

Estabilidad reforzada por sus equipamientos de serie: ESP, repartidor electrónico de frenado (REF) y sistema auxiliar de frenado de emergencia.

Además, el frenado queda garantizado por la combinación del freno motor eléctrico, que posibilita una importante recuperación de energía, y el freno hidráulico clásico, proporcionando ambos en conjunto sensaciones comparables a las de un vehículo térmico.

Finalmente, el Peugeot iOn presenta las ventajas de un coche moderno mediante el diseño de su estructura y sus equipamientos de seguridad: 2 airbags frontales, 2 airbags de tórax, 2 airbags de cortina, 2 fijaciones Isofix, alerta de falta de abrochado de cinturón de seguridad en las plazas delanteras y de desabrochado en las plazas traseras.

## 7.5.5 CONDUCCIÓN



FIGURA 18: Vista lateral del Peugeot iOn

Su velocidad máxima, que alcanza 130km/h, y sus recuperaciones (3,5s para pasar de 30km/h a 60km/h) lo convierten en un coche que se desenvuelve bien en todo tipo de carreteras. Su potencia máxima se sitúa en 47kw y el par de motor es de 180Nm.

## 7.5.6 RECARGA

La batería se recarga al 100% en 6 horas con corriente doméstica monofásica de 220V utilizando un cable de seguridad de 5 metros provisto de una toma estándar.

Es posible efectuar una recarga rápida en 15 minutos a partir de un puesto específico, situado en gasolineras o centros comerciales, alimentado en corriente continua de gran intensidad, con el fin de llenar el 50% de la capacidad de la batería, o de llegar hasta el 80% de esa capacidad si la recarga dura 30 minutos. [RW5]



FIGURA 20: Recarga del vehículo eléctrico

## 7.6 APLICACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE LAS BATERÍAS ION LITIO EN COCHE HÍBRIDO - TOYOTA PRIUS

### 7.6.1 COMPLETA SATISFACCIÓN

#### 7.6.1.1 CALIDAD Y FIABILIDAD

---

La batería de Hybrid Synergy Drive® utiliza la tecnología fiable y de demostrada eficacia de hidruro de níquel, diseñada para durar toda la vida útil del vehículo.

En los últimos once años, se han vendido más de un millón y medio de coches híbridos fabricados por Toyota, lo cual demuestra la alta calidad y fiabilidad de su innovador sistema de motor en el uso cotidiano y en innumerables pruebas de durabilidad.

### 7.6.2 EFICIENCIA Y COMBUSTIBLE

#### 7.6.2.1 MODO ELÉCTRICO (EV) Y MODO POWER

---

Toyota Hybrid Synergy Drive®: una tecnología “Full Hybrid” que permite el funcionamiento con el motor de gasolina o en modo eléctrico. El Toyota Prius selecciona, de manera imperceptible para el conductor, los motores que ha de utilizar en cada momento para ofrecer una eficiencia y un rendimiento máximos.

A diferencia de los demás vehículos actualmente en circulación, el motor eléctrico principal del Prius puede hacer que el coche funcione sólo con electricidad a una velocidad de hasta 50 km/h (modo EV) durante un máximo de 2 kilómetros. Esto convierte al Prius en el coche más avanzado y más eficiente en consumo de combustible del mundo.

El motor eléctrico de alta potencia hace posible una menor intervención del motor de gasolina y, por tanto, un ahorro adicional de combustible y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 7.6.2.2 TECNOLOGÍA STOP & START

---

El sistema Stop & Start reduce aún más el consumo de combustible apagando el motor de gasolina cuando el coche se detiene. Mientras el coche está detenido no produce emisiones y resulta excepcionalmente silencioso, además de que podemos tener el aire acondicionado o la calefacción en marcha gracias a sus motores eléctricos de alta potencia.

El uso del motor eléctrico permite volver a arrancar de una manera más rápida y suave.

### 7.6.2.3 MOTOR CÍCLICO ATKINSON DE 1.8 LITROS

---

Un nuevo y exclusivo motor de gasolina de 4 cilindros y 1.8 litros de ciclo Atkinson que genera 98 caballos de potencia a 5.200 rpm. y un par de 142 Nm a 4.000 rpm.

Este nuevo y excepcional motor proporciona un mayor par con menos revoluciones – una reducción de 300 rpm. a 120 km/h – consiguiendo un funcionamiento más silencioso y, a la vez, un ahorro de combustible del 10% en largos recorridos a velocidad de crucero.

Mediante el uso del ciclo Atkinson, se maximiza la eficiencia del motor de gasolina que, además, recibe el apoyo del motor eléctrico para ofrecer una potencia óptima.



FIGURA 19: Motor del vehículo híbrido

### 7.6.2.4 MEJORAS ADICIONALES DEL SISTEMA

---

Toyota ha introducido un motor sin correas con el fin de reducir las pérdidas mecánicas. Ahora, la bomba de agua controlada electrónicamente sólo se utiliza cuando las condiciones de uso del vehículo lo exigen. Esto reduce a su vez, las necesidades de mantenimiento del motor puesto que no se necesita la sustitución de correas.

Un nuevo sistema de gestión del calor del motor recupera el calor del proceso de escape – que normalmente se desaprovecha – y lo utiliza para calentar el motor y el interior del coche con mayor rapidez, logrando así mejorar el ahorro de combustible a bajas temperaturas y aumentar el confort del habitáculo.

El sistema de recirculación de los gases de escape refrigerados reintroduce los gases de escape refrigerados en el motor para aumentar la eficiencia.

### 7.6.2.5 BATERÍA DE ALTA ENERGÍA

---

Desarrollada con una tecnología de gran fiabilidad y de demostrada eficacia de hidruro de níquel, la nueva batería compacta de 202V proporciona mayor energía (27 kW) y mayor capacidad que la de cualquier otro sistema híbrido. La recuperación de energía se maximiza gracias a un sistema de refrigeración integrado de alto rendimiento.

El nuevo inversor, que es un 37% más compacto, se enciende con mayor rapidez para mejorar la eficiencia y convierte la corriente directa de la batería en una corriente alterna trifásica de 650 voltios que mueve el motor eléctrico y el generador.

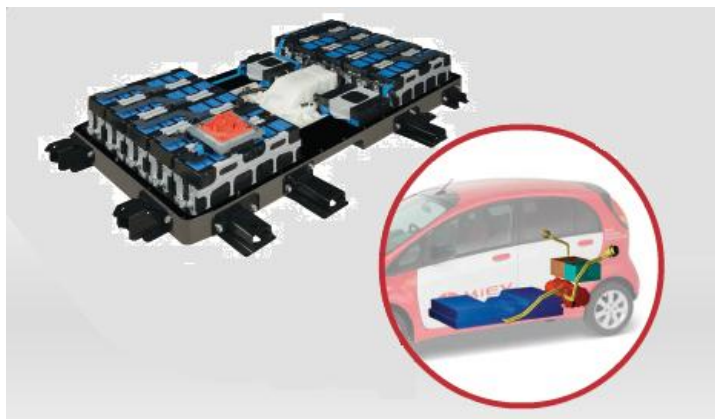


FIGURA 21: Batería del vehículo híbrido

#### 7.6.2.6 TRANSMISIÓN Y MODO ECO

---

La transmisión continuamente variable con control electrónico permite que el motor se mueva siempre a la velocidad más eficiente.

Además del modo de conducción normal, puede usted aumentar la potencia y la eficiencia de su conducción eligiendo entre los modos EV, Eco y Power.

Seleccione el modo Eco para disminuir la potencia del motor y el nivel del aire acondicionado y logre así un mayor ahorro de combustible.

Dependiendo de las condiciones de la circulación, el modo ECO puede ayudar a reducir el consumo de combustible entre un 10% y un 15%.

#### 7.6.2.7 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

---

La batería se recarga durante la desaceleración y el frenado porque el motor eléctrico actúa como un generador de alta potencia. La recuperación de energía se maximiza gracias a un sistema de refrigeración integrado de alto rendimiento.

El segundo motor eléctrico ofrece una prestación singular: puede recargar la batería en cualquier momento transformando energía mecánica excedente del motor de gasolina.

### 7.6.3 FACILIDAD DE USO

#### 7.6.3.1 DOS FUENTES DE ENERGÍA

---

Conjuntamente, los dos tipos de motores ofrecen una potencia total de 136 caballos, consumiendo solamente 3,9 litros de combustible a los 100 km. y emitiendo tan sólo 89g/km de CO<sub>2</sub>.

Con un rendimiento equiparable al de cualquier vehículo convencional de 2 litros, el nuevo Prius acelera de 0 a 100 km/h en 10,4 segundos.

El nuevo motor eléctrico de 60 kW ofrece un aumento de potencia del 20% y una reducción de peso del 33% respecto al actual sistema híbrido de Toyota. En combinación con el motor de gasolina, mejora la aceleración y puede también hacer que el vehículo se mueva sólo en modo eléctrico.

### 7.6.3.2 BATERÍA DE GRAN POTENCIA

---

La potencia de la batería del Hybrid Synergy Drive® se ha aumentado hasta los 27kW (un incremento de 2 kW).

Para mover el motor eléctrico, una nueva unidad de control de potencia convierte la corriente directa de la batería en una corriente alterna trifásica de 650 voltios (lo cual supone un aumento de 150 voltios en relación con el sistema anterior).

### 7.6.3.3 MODO POWER

---

Si se desea aumentar el placer de conducir y las prestaciones, puede seleccionarse el modo Power.

El modo Power va modificando la respuesta del sistema híbrido según el accionamiento del acelerador, aumentando así la potencia para ofrecer una aceleración impresionante y sin brusquedades.

## 7.6.4 SILENCIOSO Y SUAVE

### 7.6.4.1 MODO EV Y SISTEMA STOP & START

---

Seleccione el modo EV (vehículo eléctrico) para conducir sólo con el motor eléctrico. Este motor es considerablemente más silencioso que un motor de gasolina. En zonas residenciales, por ejemplo, el modo eléctrico es el ideal para conducir temprano por la mañana o tarde por la noche. Se puede incluso entrar y salir silenciosamente de los garajes, donde el sonido suele estar amplificado.

El Hybrid Synergy Drive® permite que el conductor seleccione la opción de conducir sólo en modo eléctrico a velocidades de hasta 50 km/h.

Asimismo, el sistema Stop & Start hace posible que el motor no produzca ruido alguno cuando el vehículo está en marcha pero parado.

### 7.6.4.2 MENOR RUIDO DEL MOTOR

---

El nuevo motor de gasolina de 1.8 litros proporciona un mayor par con menos revoluciones, permitiendo así una reducción de 300 rpm. a una velocidad constante en autopista de 120 km/h.

Durante la aceleración, el motor de gasolina ofrece ahora un par más elevado a velocidades bajas, lo cual mantiene el motor en un nivel medio de revoluciones y permite un funcionamiento más silencioso.

### 7.6.4.3 TRANSMISIÓN CONTINUAMENTE VARIABLE

---

El sistema de transmisión continuamente variable controlada electrónicamente (tipo E-CVT), es un innovador sistema que es capaz de ajustar continuamente la potencia entregada por el motor térmico y el motor eléctrico para alcanzar el máximo nivel de confort, rendimiento y seguridad.

## 7.6.5 CÓMO FUNCIONA HYBRID SYNERGY DRIVE

### 7.6.5.1 ARRANQUE

---

Desde que arranca, el nuevo Prius funciona sólo con el motor eléctrico, pudiendo alcanzar los 50km/h, hasta que entra en juego el motor de gasolina. El motor eléctrico, gracias a su elevado par motor, permite un arranque rápido y suave.

Además es muy silencioso si se compara con un coche de gasolina, y no consume combustible ni produce emisiones de CO<sub>2</sub>.

El Prius no hay que conectarlo a ningún enchufe. Al circular, si la batería está baja, el motor de gasolina impulsa el generador para recargarla.

### 7.6.5.2 CONDUCCIÓN

---

Cuando sobrepasa velocidades medias, el Prius se impulsa utilizando de forma sinérgica tanto su motor de gasolina de 1,8 litros como sus dos motores eléctricos. Mediante el uso del ciclo Atkinson, se maximiza la eficiencia del motor de gasolina que produce sólo 89 g de CO<sub>2</sub> con un consumo de combustible en ciclo combinado de 3,9 l/100 km.

Dependiendo de las condiciones de la conducción, la batería puede también recargarse con el motor eléctrico que, en este caso, actúa como generador. Unos sensores realizan un seguimiento constante de las condiciones de la conducción para proporcionar instantáneamente la cantidad de potencia que demande el conductor y para mantener una marcha uniforme.

### 7.6.5.3 ADELANTAR

---

Al adelantar o al acelerar de repente, el Prius ofrece una potencia suave y sin brusquedades que proviene tanto del motor de gasolina como de los motores eléctricos. El motor de gasolina de 1,8 litros y 99 CV recibe el apoyo del motor eléctrico de 60 Kw que proporciona una potencia adicional, ofreciendo a la vez una aceleración impresionante y sin brusquedades.

De esta forma, el Prius puede acelerar de 0 a 100 Km/h en 10,4 segundos.

### 7.6.5.4 FRENOS

---

Al reducir la velocidad o frenar, el motor eléctrico del Prius funciona igual que un generador de alta potencia y recarga la batería de alto rendimiento. Esta energía cinética normalmente se perdería en forma de calor al frenar y desacelerar.

Al frenar, el Prius no consume combustible ni produce emisiones; además, el ruido derivado del uso del motor eléctrico como generador es prácticamente imperceptible.



#### 7.6.5.5 MODO ELÉCTRICO

---

El conductor puede activar el modo Vehículo eléctrico (EV) para circular solo con el motor eléctrico a una velocidad de hasta 50 Km/h. El motor eléctrico es extraordinariamente silencioso en comparación con un motor de gasolina y obtiene su energía exclusivamente de la batería.

En este modo, el coche no consume combustible ni produce emisiones.

#### 7.6.5.6 PARADA

---

Cuando el coche se detiene, el sistema Stop & Start apaga el motor de gasolina para reducir aun más el consumo de combustible. El resto de los sistemas, incluido el aire acondicionado eléctrico, siguen funcionando.

Mientras esta detenido, el coche no produce emisión alguna y es completamente silencioso. [RW6]



## 8 PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE $\text{LiFePO}_4$ RECUBIERTO DE CARBÓN COMO MATERIAL CATÓDICO PARA BATERÍAS DE ION LITIO CON POLÍMERO DE RESORCINOL FORMALDEHIDO COMO PRECURSOR DEL CARBONO

$\text{LiFePO}_4$  es un material interesante como cátodo para las baterías de Ion litio debido a que posee una alta capacidad, bueno para el medio ambiente y de alta estabilidad térmica. Sin embargo su baja conductividad eléctrica limita el rendimiento de estas baterías, como el drástico descenso de potencia a una alta densidad de corriente. Este es su principal inconveniente para su comercialización.

### 8.1 PREPARACIÓN DE $\text{LiFePO}_4/\text{C}$

Se preparan nanopartículas amorfas de  $\text{FePO}_4$  mediante precipitación espontánea en disolución acuosa. Se añade una solución equimolar de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  a la solución de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  a  $60^\circ\text{C}$  bajo agitación añadiendo cantidades dadas de PEG400 como surfactante. Después se añade lentamente  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en gran agitación y se formará un precipitado blanco rápidamente. El Ph de la disolución debe mantenerse en 2.0. El precipitado se filtra y se lava varias veces con agua destilada. Después se seca en un horno a vacío a  $120^\circ\text{C}$  durante 12 horas, se obtiene  $\text{FePO}_4$  amorfo y de color entre blanco y amarillo.

### 8.2 MÉTODO DE PRECIPITACIÓN

En una síntesis típica, se disuelven en 30ml de agua destilada, 0,10 g de CTAB bajo continua agitación.

A continuación se añade 1.52g de  $\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , 0.055g de resorcinol y 0.10 ml de formaldehído. Cuando la temperatura del baño de agua alcanza los  $85^\circ\text{C}$  se añaden  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ . La mezcla debe permanecer en agitación y a oscuras durante dos horas, secar en un horno a  $120^\circ\text{C}$  durante 6 horas, calentar a  $350^\circ\text{C}$  durante una hora en argón, tratar a  $750^\circ\text{C}$  durante 12h en argón y finalmente se obtendrá el composite de  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ .

Este método envuelve in situ la reacción de resorcinol y formaldehído en la superficie de  $\text{FePO}_4$  amorfo.



## 9 OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS

Este método se basa en la preparación de una disolución acuosa y estequiométrica con respecto al compuesto sólido que se pretende preparar.

Se preparan 100ml de una disolución 0,1M con los siguientes reactivos:

Tabla 12: Reactivos de la disolución

Compuestos disolución Precipitación	
Compuesto	Cantidad añadida
Agua destilada	100ml
$\text{H}_3\text{PO}_4$	1ml
$\text{NH}_3$	Formación precipitado blanco
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$	5,99g
PEG-400	2,00g

En esta primera parte es imprescindible contar con una manta calefactora y que, a la vez, haga función de agitación junto con un imán, al igual que se considera esencial trabajar en el interior de una campana extractora a lo largo de todo el procedimiento tal y como se muestra en la figura 22.

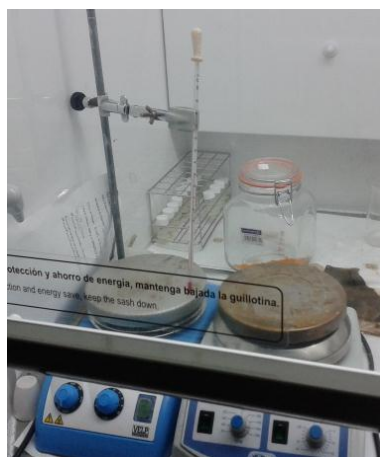


Figura 22: Manta calefactora y agitación.

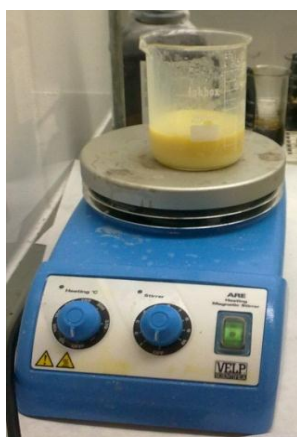
Así el procedimiento experimental será:

1. En un vaso de precipitados con capacidad mayor a 100ml se añaden los 100ml de agua destilada. En este mismo momento el vaso debe encontrarse en agitación continua como se observa en la figura 23.



*Figura23: Manta calefactora en el primer paso*

2. Añadimos a dicho matraz 1ml de  $H_3PO_4$ .
3. Medir el Ph de la disolución obtenida anteriormente. Este Ph debe ser aproximadamente 2, sino es así deberemos añadir más ácido fosfórico para obtener el Ph deseado. Antes de cualquier medición empleando el Phmetro se debe calibrar con ayuda de las disoluciones reguladoras o buffer.
4. Elevar la temperatura de la disolución hasta 60°C. Una vez alcanzada esta temperatura se añade el PEG-400.
5. Volver a medir el Ph de la disolución y asegurarse que se encuentra en torno a 2.
6. Añadir  $NH_3$ , con bastante cuidado, hasta observar que se forma un precipitado de color blanco.
7. Volver a medir el Ph y asegurarnos que continúa como antes, en un valor en torno a 2.



*Figura24: Disolución obtenida después de añadir el  $NH_3$  y antes de introducirla en la centrifugadora*

8. Centrifugar la disolución obtenida. La disolución se centrifuga en tandas de 4 viales. Cuando las fases estén separadas, se debe desechar la parte acuosa y lavar con agua destilada la fase sólida y volver a centrifugar dichos viales. Este ciclo debe repetirse dos veces para asegurarnos un correcto lavado de la fase sólida. En la figura 25 se observa el equipo empleado para centrifugar.



Figura 25: Centrifugadoras empleadas para la separación de la muestra



Figura 26: Viales empleados en la centrifugadora.

9. El compuesto gelatinoso obtenido presenta un color amarillo. En la siguiente etapa es necesario un secado en vacío. En este caso, el secado se ha realizado a través de un horno de vacío, para asegurar el vacío y no correr riesgos de contaminación u oxidación de las muestras.

Hay que tener especial cuidado al emplear el horno de vacío. No se pueden introducir muestras con elevado porcentaje de humedad, ya que este tipo de horno de vacío emplea un sistema de nitrógeno para concentrar lo evaporado. Si la muestra posee elevada concentración de disolvente, este se condensará, afectando al vacío y con ello al resto de hornos de vacío que haya conectadas al sistema.

10. Una vez secado durante 12 horas, el compuesto obtenido será de  $\text{FePO}_4$ , de un color amarillo oscuro, tal y como se puede observar en la figura 27.

Este compuesto será empleado en la segunda etapa de la síntesis pero antes de ello, se debe recoger un poco de muestra para poder caracterizarlo mediante SEM y DRX.



Figura 27: Compuesto de  $\text{FePO}_4$  a la salida del horno de vacío.

Una vez obtenido el  $\text{FePO}_4$ , se pasa a realizar la segunda etapa de la síntesis. En esta etapa se debe obtener finalmente un compuesto de tonos verdosos, constituido por  $\text{LiFePO}_4$ . En este caso, las cantidades de los reactivos empleados no se han calculado por estequiometría. El procedimiento a seguir será:

1. Disolver 0.1g de CTAB en 30ml de agua destilada en un vaso de precipitados con agitación constante  $60^\circ\text{C}$ .
2. Añadir 1.52g de  $\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (obtenido en la primera parte), obteniendo el compuesto que se observa en la figura 28.



*Figura 28:  $\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  molido*



*Figura 29: Mezcla de CTAB con  $\text{FePO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$*

3. Añadir 0.055g de Resorcinol
4. Añadir 0.1 ml de Formaldehído. Pureza 37%
5. Todo ello debe estar constantemente en agitación y calefacción a  $60^\circ\text{C}$ .
6. Cuando la temperatura de la disolución alcance los  $85^\circ\text{C}$ , se debe añadir el compuesto  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ . pureza 98%
7. Se debe mantener la agitación y la calefacción hasta que la disolución se vea homogénea y de un tono marrón aproximadamente durante 2 horas.
8. Secar la muestra durante 6 horas en un horno como el de la figura 30 a  $120^\circ\text{C}$ .





*Figura 30: Horno de secado*

9. Cuando obtengamos la muestra después de las 6 horas introducidas en un horno, de color marrón oscuro tal y como se muestra en la figura 31, debemos tomar muestras para caracterizarlas mediante SEM y DRX.



*Figura 31:  $\text{LiFePO}_4$  obtenido después de un tratamiento térmico de 6 horas*

La tercera etapa, y la más importante de todas, consisten en introducir la muestra en un horno que este diseñado para trabajar a diferentes atmósferas. En este caso la atmosfera será de argón. El equipo empleado se muestra en la figura 32:



*Figura 32: Equipo empleado en la tercera etapa de la obtención de las nanopartículas de  $\text{LiFePO}_4$*

Así los pasos a seguir en esta tercera etapa son:

1. Para poder realizar el paso anterior es necesario compactar una pieza del polvo que tenemos de  $\text{LiFePO}_4$ . Para esto se debe usar un troquel, obteniendo así una pieza circular de pequeño espesor, como se muestra en la figura 33:



*Figura 33: Muestra a introducir en el horno.*

2. Para la realización de esta etapa es muy importante que el horno llegue a ser estanco, si esto no ocurriera, el experimento no sería válido.
3. En esta etapa se deben realizar dos calentamientos diferentes, en ambas con atmósfera de argón. En primer lugar mantener la muestra durante 1 hora a  $350^\circ\text{C}$ , para posteriormente subir a  $750^\circ\text{C}$  y mantener la muestra durante 12 horas en el interior del horno. Se programa el horno del siguiente modo:
  - Rampa ascendente de temperatura ambiente (unos  $25^\circ\text{C}$ ) a  $350^\circ\text{C}$  a una velocidad de  $2^\circ\text{C}/\text{minuto}$ . (163 minutos)
  - Mantener la temperatura de  $350^\circ\text{C}$  durante 1 hora. (60 minutos)
  - Rampa ascendente de  $350^\circ\text{C}$  a  $750^\circ\text{C}$  a una velocidad de  $3^\circ\text{C}/\text{minuto}$ . (134 minutos)
  - Mantener la temperatura de  $750^\circ\text{C}$  durante 12 horas. (720 minutos)
  - Rampa descendente de  $750^\circ\text{C}$  a temperatura ambiente (unos  $25^\circ\text{C}$ ) a una velocidad de  $5^\circ\text{C}/\text{minuto}$ . (145 minutos)
4. Transcurrido este tiempo (mas de 20 horas), la muestra se dejará enfriar junto con el horno en atmosfera de argón.
5. El último paso será recuperar la pieza de  $\text{LiFePO}_4$  del interior del horno para caracterizarla mediante DRX y SEM como en casos anteriores.

Los parámetros o etapas clave que se deben optimizar son:

1. Optimización de las temperaturas de síntesis y tratamientos de todas las etapas.
2. Optimización etapa de mezclado de la segunda etapa, consiguiendo un espacio sin luz y agitando aproximadamente durante 2 horas para conseguir mayor homogeneidad que en el caso anterior.

NOTA: Durante todo el proceso, es de vital importancia conservar las muestras sin ningún tipo de contaminación; para ello es necesario, que una vez finalizado el trabajo se tapen todas las disoluciones o todos los compuestos obtenidos, para evitar principalmente la oxidación de los compuestos.

## 10 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

La caracterización de las muestras obtenidas, es de vital importancia para llegar a comprender los resultados obtenidos a lo largo de toda la etapa de laboratorio.

Cada vez que se concluya alguna de las etapas expuestas anteriormente en la síntesis, es necesario tomar una pequeña muestra de lo obtenido y llevarlo a caracterizar mediante Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica de Barrido.

### 10.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La difracción de rayos X en muestra policristalina permite abordar la identificación de fases cristalinas (puesto que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma característico) tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo. Los estudios de polimorfismo, transiciones de fase y soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula, determinación de diagramas de fase, etc. se realizan habitualmente por difracción de rayos X.

La difracción de rayos X es un fenómeno físico que se produce al interaccionar un haz de rayos X, de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina.

La difracción de rayos X se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia (se mantiene la longitud de onda de la radiación) y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio.

Los rayos X, en experimentos de difracción, están normalmente producidos por bombardeos a un metal diana con un haz de electrones emitido por un filamento al calentarse. La incidencia del haz de electrones ioniza los electrones desde la capa K (1s) del átomo diana, y las vacantes resultantes son llamadas por electrones desde los niveles L (2p) o M (3p). Esto da origen a las líneas de intensidad  $K_{\alpha}$  y  $K_{\beta}$ .

El fenómeno de la difracción puede describirse con la Ley de Bragg, que predice la dirección en la que se da interferencia constructiva entre haces de rayos X dispersados coherentemente por un cristal.

La Ley de Bragg queda descrita por la siguiente relación:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

en la que  $d$  es el espaciado o la distancia perpendicular entre cualquier par de planos adyacentes de la familia,  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación incidente y  $\theta$  es el ángulo de Bragg, formado por los rayos con los planos reticulares del cristal.

Cuando se satisface la Ley de Bragg, los haces reflejados están en fase e interfieren constructivamente. En cambio, en ángulos de incidencia diferentes, los haces reflejados están fuera de fase y tiene lugar la cancelación o interferencia destructiva. En cristales reales, que contienen miles de planos, la Ley de Bragg impone una condición restrictiva sobre los ángulos en los cuales puede ocurrir reflexión. Si el ángulo de incidencia no es correcto, aunque sea por unas décimas de grado, la cancelación de los haces reflejados es completa.

### 10.1.1 MÉTODO EMPLEADO

La técnica que se utiliza es el denominado método de polvo o de Debye-Scherrer. Se toma una muestra policristalina formada por muchas partículas diminutas y orientadas al azar, que se expone a una radiación de rayos X monocromática. Como cada partícula de polvo es un cristal, al ser orientadas de manera aleatoria, se puede asegurar que algunas de ellas estén situadas adecuadamente para que sus planos cumplan las condiciones para la difracción.

Se ha utilizado un difractómetro automático Philips modelo X'Pert. El difractómetro es un aparato que se utiliza para determinar los ángulos en los que ocurre la difracción en las muestras en forma de polvo. El polvo cristalino depositado en una lámina plana, se coloca de modo que gire alrededor de un eje. Se genera un haz monocromático de rayos X y las intensidades de los haces difractados se detectan con un contador. La muestra, la fuente de rayos X y el contador están en un mismo plano.

El contador se instala en un lugar que pueda girar en torno al eje. La posición angular, en función de  $2\theta$ , se determina mediante una escala graduada. La muestra y el contador se acoplan mecánicamente de modo que la rotación  $\theta$  de la muestra representa un giro  $2\theta$  del contador, lo que asegura el mantenimiento de los ángulos incidente y difractado.

El contador se mueve a una velocidad angular constante. La intensidad del haz difractado se registra en función de  $2\theta$ . El ángulo  $2\theta$  es el denominado ángulo de difracción y se determina experimentalmente.

## 10.2 MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

El Microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope), es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil pues la mayoría de SEMs sólo requieren que estas sean conductoras.

En el microscopio electrónico de barrido la muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados que viajan a través del cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de TV o una imagen digital. Su resolución está entre 4 y 20 nm, dependiendo del microscopio. Inventado en 1931 por Ernst Ruska, permite una aproximación profunda al mundo atómico. Permite obtener imágenes de gran resolución en materiales pétreos, metálicos y orgánicos. La luz se sustituye por un haz de electrones, las lentes por electroimanes y las muestras se hacen conductoras metalizando su superficie.

### 10.2.1 ANTECEDENTES

Los primeros instrumentos desarrollados para este propósito, fueron microscopios ópticos, porque con el ojo humano es imposible visualizar. Estos instrumentos fueron desde una simple lupa, hasta un microscopio compuesto. Sin embargo, aún en el mejor instrumento óptico, la resolución está limitada a la longitud de onda de la luz que se utilice, que en este caso es la luz violeta, cuya longitud de onda es de aproximadamente 400 nanómetros; por lo tanto, los detalles más pequeños que pueden resolverse, deberán estar separados no menos de esta longitud. En términos de amplificación, esto quiere decir que no podemos amplificar más de 1,000 veces.

Una salida inmediata a esta limitante de resolución, es utilizar alguna radiación de longitud de onda más corta que la de la luz violeta. Los candidatos inmediatos son los rayos X, que se caracterizan por una longitud de onda del orden de 0.15 nanómetros; desafortunadamente éstos tienen la gran desventaja de ser absorbidos rápidamente por lentes de vidrio y de no poder ser desviados por lentes magnéticas (Además de las precauciones que debería tener el operador).

Otra posibilidad es aprovechar el comportamiento ondulatorio de los electrones acelerados por alguna diferencia de potencial. Sea el caso, por ejemplo, de electrones acelerados en un campo de 100,000 voltios que presentan comportamiento ondulatorio con una longitud de onda de 0.0037 nm (3.7 picómetros), lo que en principio permitiría tener un aparato que resolviera detalles del mismo orden, lo cual es más de lo que se necesita para resolver detalles atómicos, puesto que los átomos en un sólido están separados en un orden de 0.2 nm. Sin embargo, en la práctica, detalles inherentes a la técnica de observación, o defectos en el maquinado de las piezas polares producen aberraciones.

### 10.2.2 FUNCIONAMIENTO

En el microscopio electrónico de barrido es necesario acelerar los electrones en un campo eléctrico, para aprovechar de esta manera su comportamiento ondulatorio, lo cual se lleva a cabo en la columna del microscopio, donde se aceleran por una diferencia de potencial de 1,000 a 30,000 voltios. Los electrones acelerados por un voltaje pequeño son utilizados para muestras muy sensibles, como podrían ser las muestras biológicas sin preparación adicional, o muestras muy aislantes. Los altos voltajes se utilizan para muestras metálicas, ya que éstas en general no sufren daños como las biológicas, y de esta manera se aprovecha la menor longitud de onda para tener una mejor resolución. Los electrones acelerados salen del cañón, y son enfocados por las lentes condensadora y objetiva, cuya función es reducir la imagen del filamento, de manera que incida en la muestra un haz de electrones lo más pequeño posible (para así tener una mejor resolución). Con las bobinas deflectoras se barre este fino haz de electrones sobre la muestra, punto por punto y línea por línea.

Cuando el haz incide sobre la muestra, se producen muchas interacciones entre los electrones del mismo haz, y los átomos de la muestra; puede haber por ejemplo, electrones rebotados como las bolas de billar. Por otra parte, la energía que pierden los electrones al “Chocar” contra la muestra puede hacer que otros electrones salgan despedidos (electrones secundarios), y producir rayos X, electrones Auger, etc. El más común de éstos es el que detecta electrones secundarios, y es con el que se hacen la mayoría de las imágenes de microscopios de barrido.

Podemos también adquirir la señal de Rayos X que se produce cuando se desprenden estos mismos de la muestra, y posteriormente hacer un análisis espectrográfico de la composición de la muestra.

### 10.2.3 PRINCIPALES APLICACIONES

Las aplicaciones del microscopio electrónico de barrido son muy variadas, y van desde la industria petroquímica o la metalurgia hasta la medicina forense. Sus análisis proporcionan datos como textura, tamaño y forma de la muestra.

Entre las áreas de aplicación de esta técnica, se pueden mencionar:

- Geología: Investigaciones geomineras, cristalográficas, mineralógicas y petrológicas. Estudio morfológico y estructural de las muestras.
- Estudio de materiales: Caracterización microestructural de materiales. Identificación, análisis de fases cristalinas y transiciones de fases en diversos materiales tales como metales, cerámicos, materiales compuestos, semiconductores, polímeros y minerales. Composición de superficies y

tamaño de grano. Valoración del deterioro de materiales, determinación del grado de cristalinidad y presencia de defectos. Identificación del tipo de degradación: fatiga, corrosión, fragilización, etc.

- Metalurgia: Control de calidad y estudio de fatiga de materiales, características texturales. Análisis de fractura (fractomecánica) en materiales, un ejemplo concreto de este tipo de aplicación se expone en la parte de trabajo práctico.
- Odontología: En este campo son muchas las aplicaciones de las caracterizaciones morfológicas que se pueden realizar con el microscopio electrónico de barrido.
- Paleontología y Arqueología: Caracterización de aspectos morfológicos.
- Control de Calidad: En este campo, el microscopio electrónico de barrido es de gran utilidad para el seguimiento morfológico de procesos y su aplicación en el control de calidad de productos de uso y consumo.
- Peritajes: Estudios de muestras de cualquiera de las áreas antes mencionadas.
- Medicina Forense: Análisis morfológico de pruebas.
- Botánica, Biomedicina y Medicina: Estudio morfológico.
- Estudio químico y estructural de obras de arte, alteración de monumentos, control de calidad, identificación de pigmentos (restauración, autenticación)
- Peritaciones Caligráficas: Estudio de trazos.
- Electrónica: Control y calidad de partes electrónicas.

# 11 RESULTADOS

## 11.1 MUESTRAS OBTENIDAS

La investigación llevada a cabo, se divide en tres series. En cada serie se han ido realizando los pasos que se han explicado en la parte de experimentación. En cada serie se han tomado diferentes muestras para analizar.

En cada serie se pueden distinguir tres etapas.

- La primera etapa y, por tanto, la primera toma de muestras se realiza una vez que la disolución primaria, formada por Agua destilada,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_3\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , PEG-400, ha sido sometida a centrifugación, ha sido lavada, y sometida a un tratamiento térmico en un horno de vacío. Esta etapa es la llamada **Step1** y la muestra será de  $\text{FePO}_4$ .
- La segunda toma de muestras y por lo tanto la segunda etapa, se realiza una vez que el  $\text{FePO}_4$ , obtenido en la primera etapa, es mezclado con CTAB, Resorcinol, Formaldehído y  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  y sometido a un tratamiento térmico en un horno durante 6 horas a  $120^\circ\text{C}$ . La muestra tomada será de  $\text{LiFePO}_4$  y esta etapa se llama **Step2**.
- Por último, tenemos la etapa 3 o **Step3**. La muestra tomada será de  $\text{LiFePO}_4$  aunque se diferenciará en la anterior por haber sido sometida a un tratamiento térmico con argón durante 12 horas a  $750^\circ\text{C}$ .

Estas tres etapas estarán presentes en las tres series. Hay que tener en cuenta, a la hora de interpretar los resultados, que las dos primeras series provienen de la misma disolución mientras que, para la última serie, se preparó una disolución nueva. Es por eso por lo que cabría esperar que la caracterización de las muestras de las dos primeras series salgan resultados parecidos.

A continuación se exponen los resultados obtenidos de todas las muestras sometidas a difracción de rayos X.

## 11.2 SERIE 1

### 11.2.1 ETAPA 1

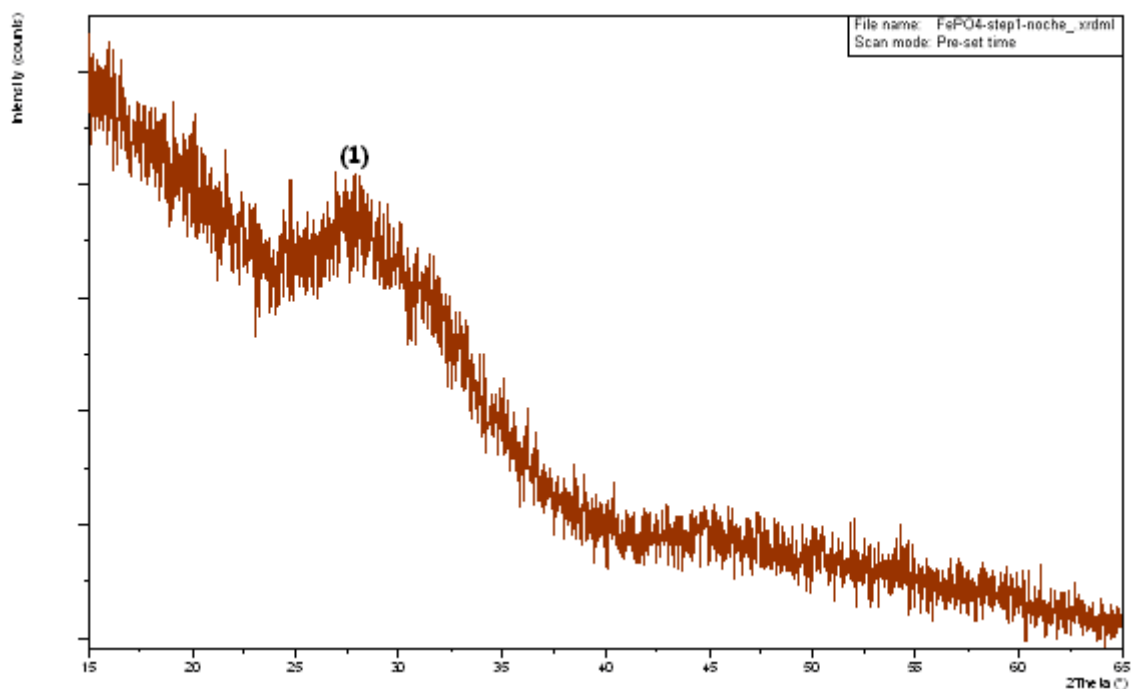


Figura 34: DRX serie 1 etapa 1

En la figura 34 se muestra el patrón de difracción de la serie 1 en la etapa 1. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 13: Fases serie 1 etapa 1

		2θ	Intensidad
(1)	FePO <sub>4</sub>	28.060	100



## 11.2.2 ETAPA 2

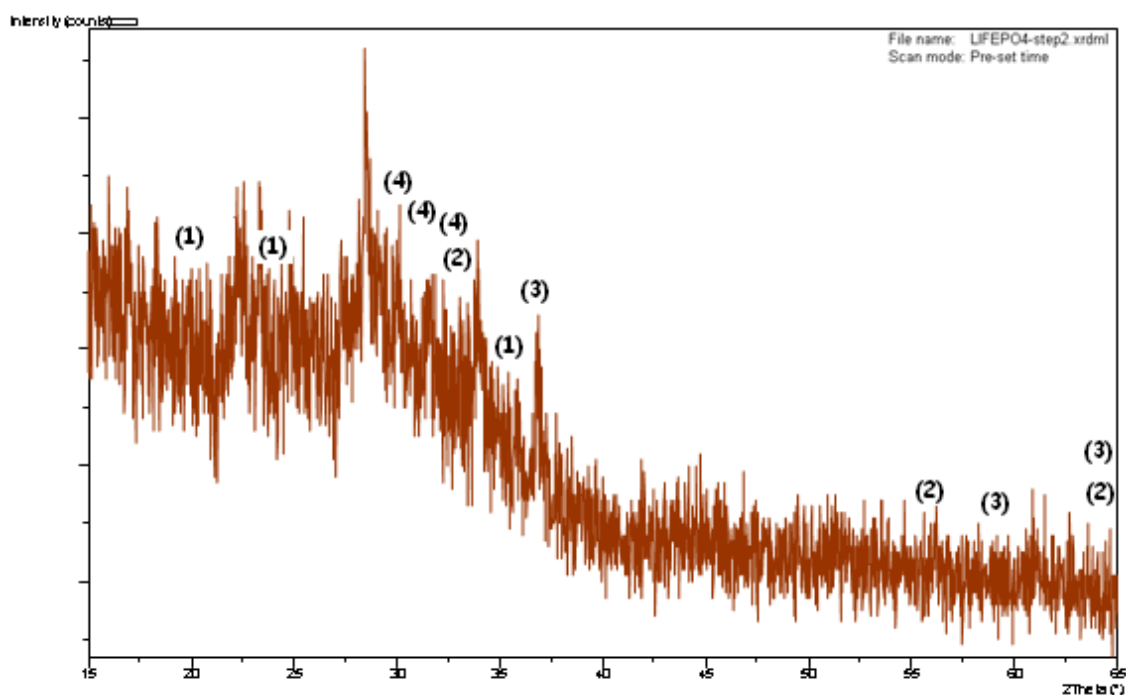


Figura 35: DRX serie 1 etapa 2

En la figura 35 se muestra el patrón de difracción de la serie 1 en la etapa 2. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 14: Fases serie 1 etapa 2

		2θ	Intensidad			2θ	Intensidad
(1)	LiFePO <sub>4</sub>	20.511	60	(3)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	36.852	100
		24.878	80			59.357	40
		32.123	100			65.245	50
(2)	Li <sub>2</sub> O	33.642	100	(4)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.046	60
		56.426	40			30.214	40
		67.336	16			33.845	100

## 11.2.3 ETAPA 3

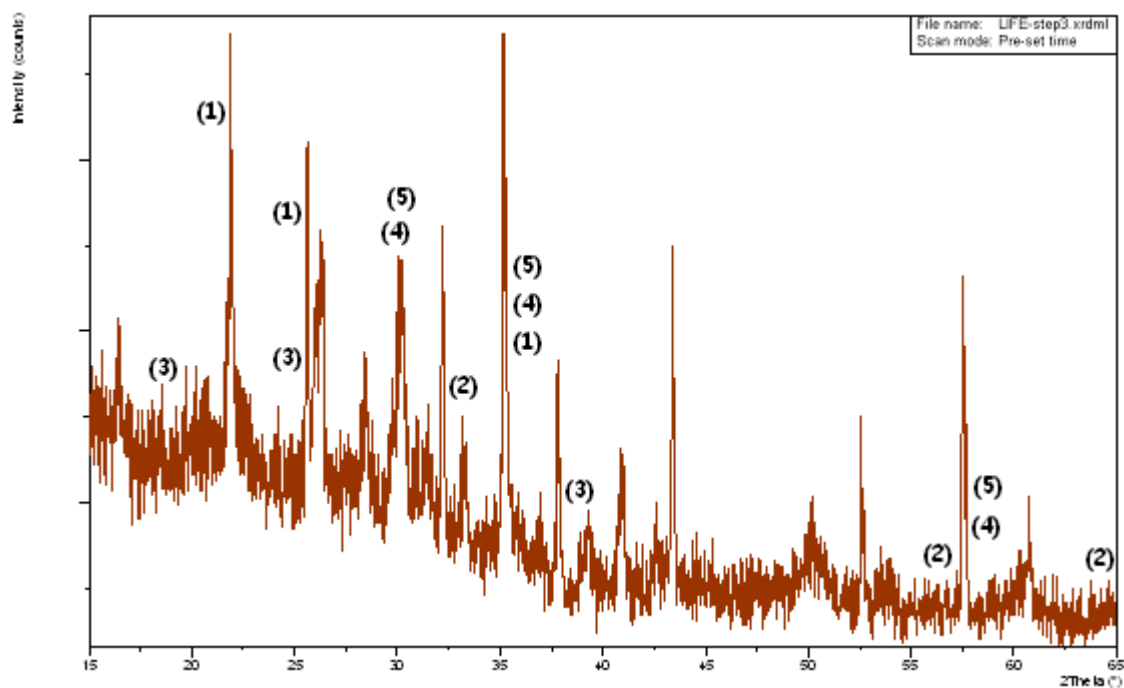


Figura 36: DRX serie 1 etapa 3

En la figura 36 se muestra el patrón de difracción de la serie 1 en la etapa 3. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 15: Fases serie 1 etapa3

		2θ	Intensidad			2θ	Intensidad
(1)	LiFePO <sub>4</sub>	20.803	85	(4)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	30.131	70
		25.598	80			35.482	100
		35.683	100			57.064	85
(2)	Li <sub>2</sub> O	33.642	100	(5)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.266	35
		56.426	40			35.661	100
		67.336	16			62.983	34
(3)	FePO <sub>4</sub>	19.862	20				
		25.302	100				
		37.652	10				

## 11.3 SERIE 2

### 11.3.1 ETAPA 1

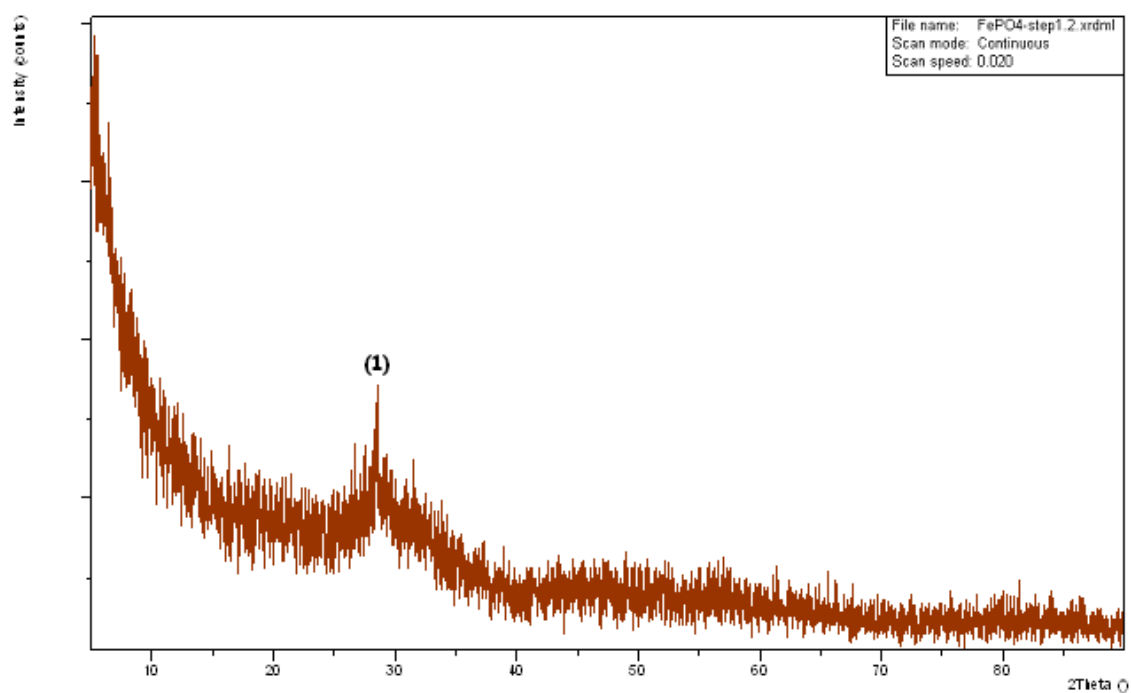


Figura 37: DRX serie 2 etapa 1

En la figura 37 se muestra el patrón de difracción de la serie 2 en la etapa 1. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 16: Fases serie2 etapa 1

		2θ	Intensidad
(1)	FePO <sub>4</sub>	28.060	100

## 11.3.2 ETAPA 2

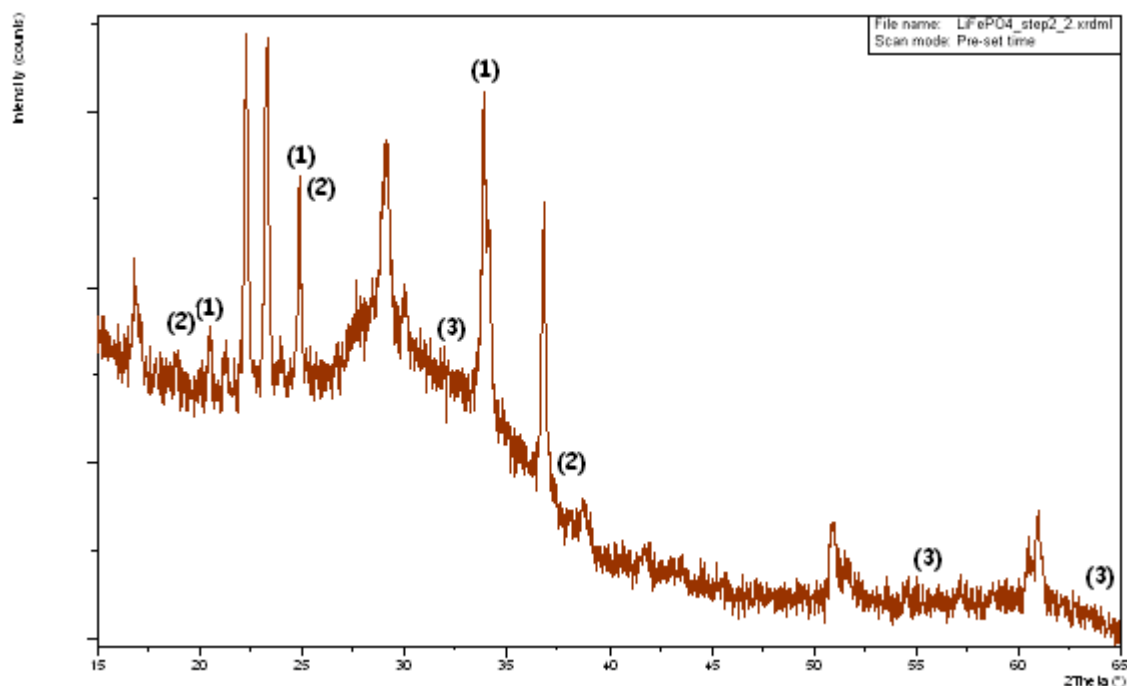


Figura 38: DRX serie 2 etapa 2

En la figura 38 se muestra el patrón de difracción de la serie 2 en la etapa 2. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 17: Fases serie2 etapa 2

		2θ	Intensidad
(1)	LiFePO <sub>4</sub>	20.511	60
		24.878	80
		32.123	100
(2)	FePO <sub>4</sub>	19.862	20
		25.302	100
		37.652	10
(3)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.065	100
		55.272	40
		65.920	19

### 11.3.3 ETAPA 3

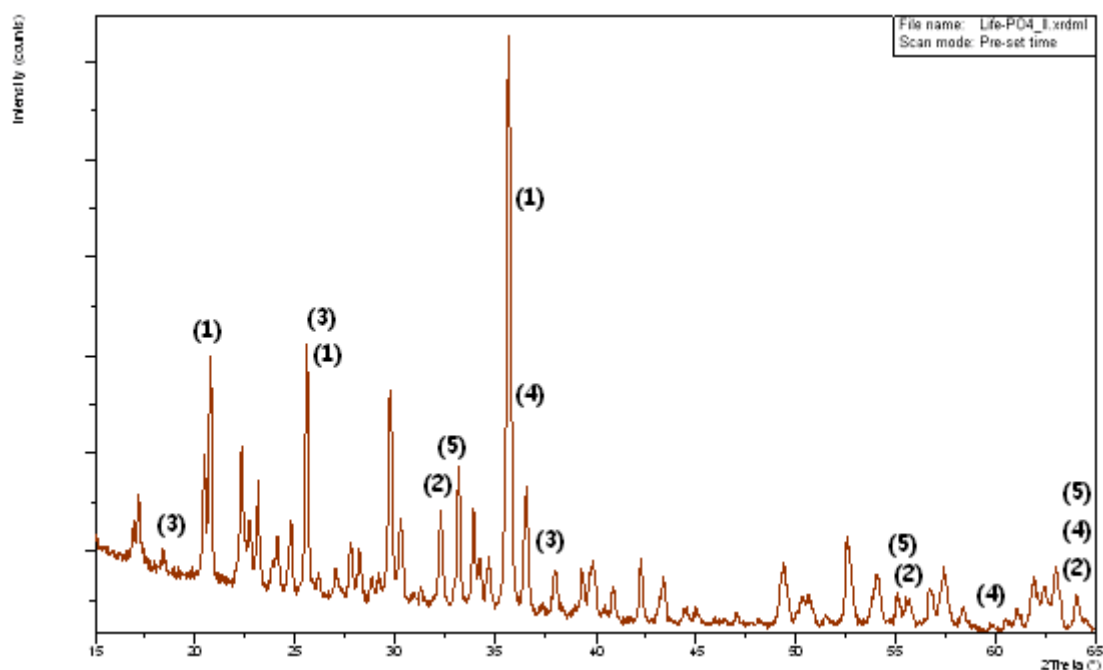


Figura 39: DRX serie 2 etapa 3

En la figura 39 se muestra el patrón de difracción de la serie 2 en la etapa 3. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 18: Fases serie 2 etapa 3

		2θ	Intensidad			2θ	Intensidad
(1)	LiFePO <sub>4</sub>	20.803	85	(4)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	36.852	100
		25.598	80			59.357	40
		35.683	100			65.245	50
(2)	Li <sub>2</sub> O	33.642	100	(5)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.266	35
		56.426	40			35.661	100
		67.336	16			62.983	34
(3)	FePO <sub>4</sub>	19.862	20				
		25.302	100				
		37.652	10				

## 11.4 SERIE 3

### 11.4.1 ETAPA 1

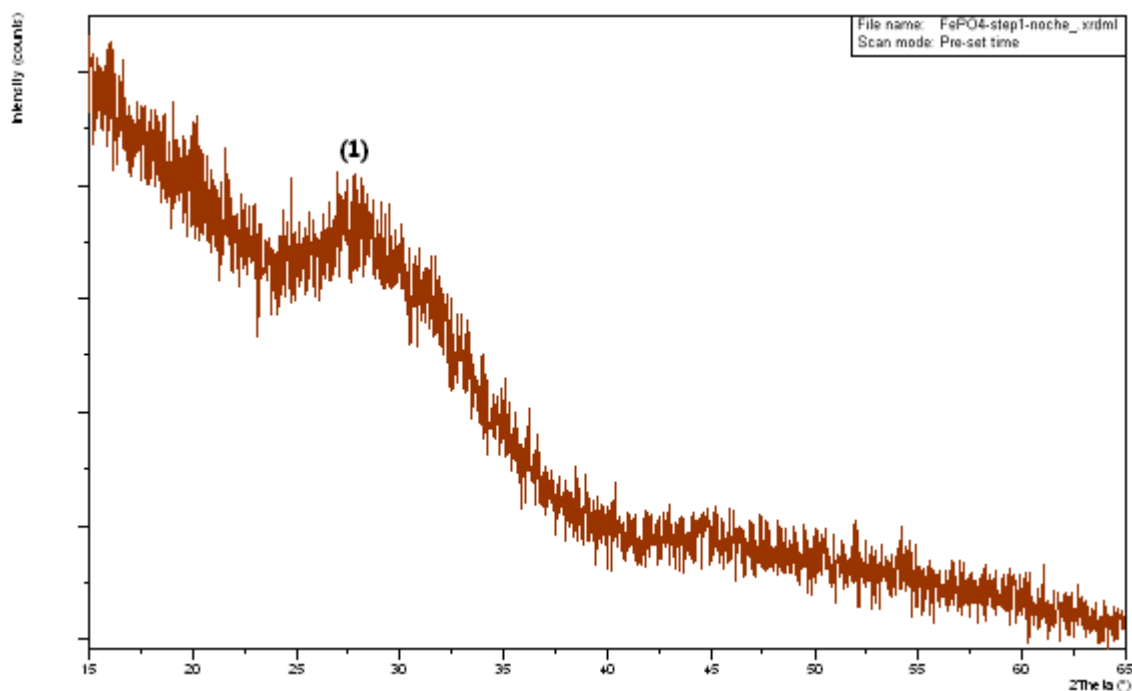


Figura 40: DRX serie 3 etapa 1

En la figura 40 se muestra el patrón de difracción de la serie 3 en la etapa 1. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 19: Fases serie 3 etapa 3

		$2\theta$	Intensidad
(1)	$\text{FePO}_4$	28.060	100

## 11.4.2 ETAPA 2

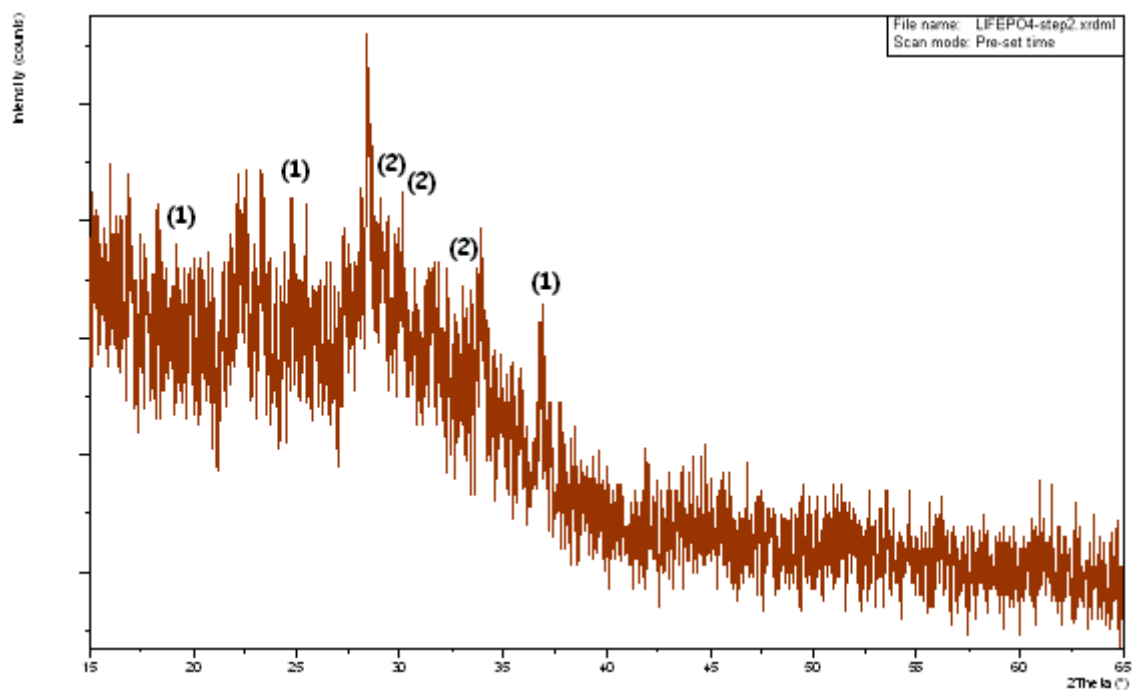


Figura 41: DRX serie 3 etapa 2

En la figura 41 se muestra el patrón de difracción de la serie 3 en la etapa 2. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 20: Fases serie 3 etapa 2

		2θ	Intensidad
(1)	FePO <sub>4</sub>	19.862	20
		25.302	100
		37.652	10
(2)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.046	60
		30.214	40
		33.845	100

### 11.4.3 ETAPA 3

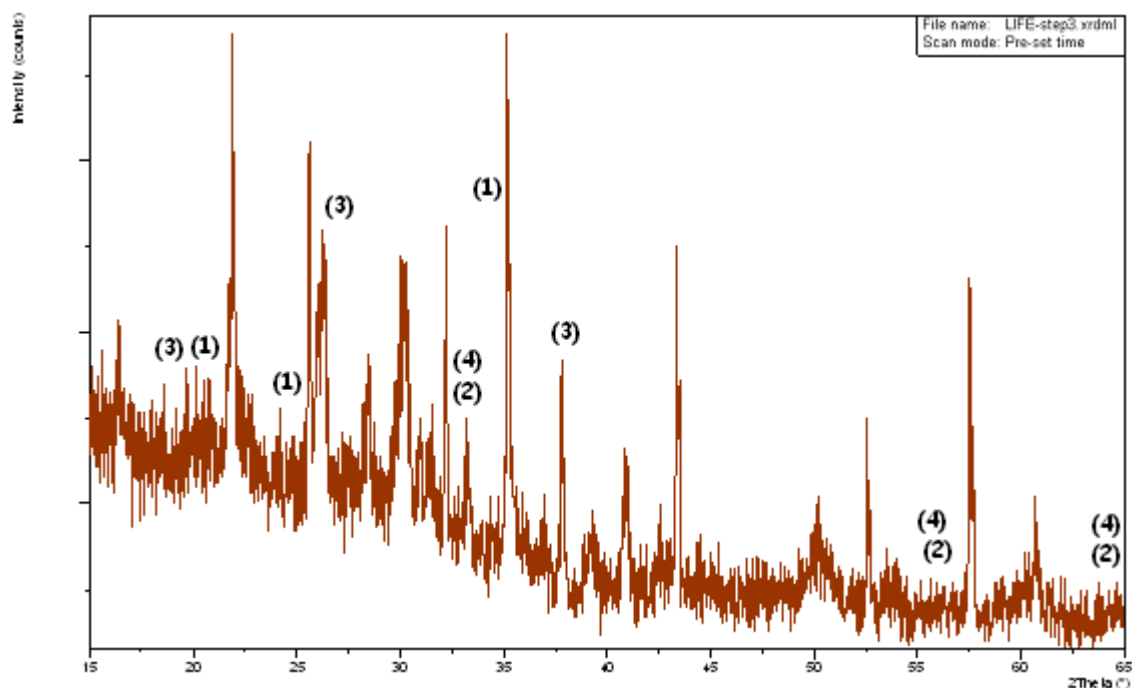


Figura 42: DRX serie 3 etapa 3

En la figura 42 se muestra el patrón de difracción de la serie 3 en la etapa 3. Considerando la base de datos internacional JCPDS, se han podido identificar las siguientes fases:

Tabla 21: Fases serie 3 etapa 3

		2θ	Intensidad
(1)	LiFePO <sub>4</sub>	20.803	85
		25.598	80
		35.683	100
(2)	Li <sub>2</sub> O	33.642	100
		56.426	40
		67.336	16
(3)	FePO <sub>4</sub>	19.862	20
		25.302	100
		37.652	10
(4)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.065	100
		55.272	40
		65.920	19



## 11.5 SEM

Como en sí, el objetivo era conseguir partículas de  $\text{LiFePO}_4$  y ese hecho se ha demostrado con el análisis de DRX, en este caso únicamente se estudian las muestras correspondientes a la serie 2 para poder conocer la morfología y composición lograda con este método de sinterización.

A continuación se exponen los resultados obtenidos mediante el análisis SEM. Hay que recordar, que este método es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales. Por esto mismo, se estudian las fotografías tridimensionales que proporciona. Además hay que recordar que los resultados más importantes nos los proporcionan:

1. los electrones secundarios (SE) que, al ser de baja energía, nos proporcionan información sobre la morfología y topografía de la muestra;
2. y los electrones retrodispersados (BSE), que nos aportan información de composición. La intensidad de emisión de estos electrones depende del número atómico medio de los átomos de la muestra, así elementos ligeros con números atómicos inferiores al del sodio no podrán ser cuantificados y, por el contrario, los elementos mas pesados, al producir mayor cantidad de electrones retrodispersados (BSE), producirán una diferencia de contraste en la fotografía bastante acusada.

### 11.5.1 ETAPA 1

En la figura 43 se muestra una micrografía de electrones secundarios (SE) a bajos aumentos. Se puede observar partículas de geometría irregular y formas poliédricas. Respecto al tamaño, se observan partículas grandes con aglomerados de pequeño tamaño adheridos superficialmente.

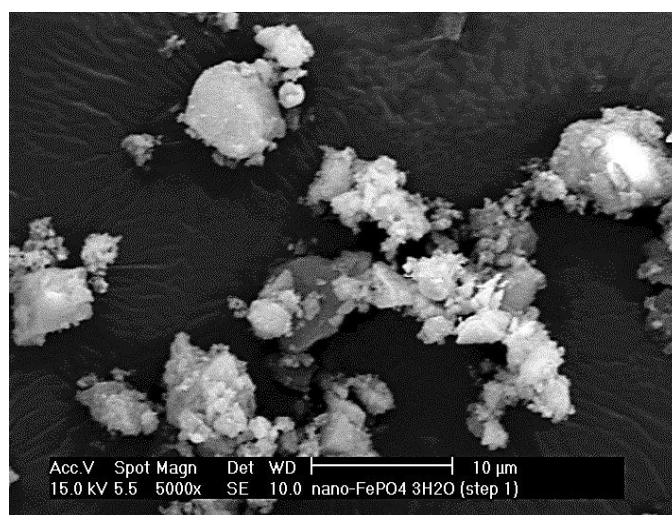


Figura 43: Análisis SE 500x. etapa1, Serie2

Se realizó un microanálisis semicuantitativo para poder determinar la composición de las partículas evaluadas. En la figura 44 se muestra el espectro de energías obtenidas por el detector de EDS.

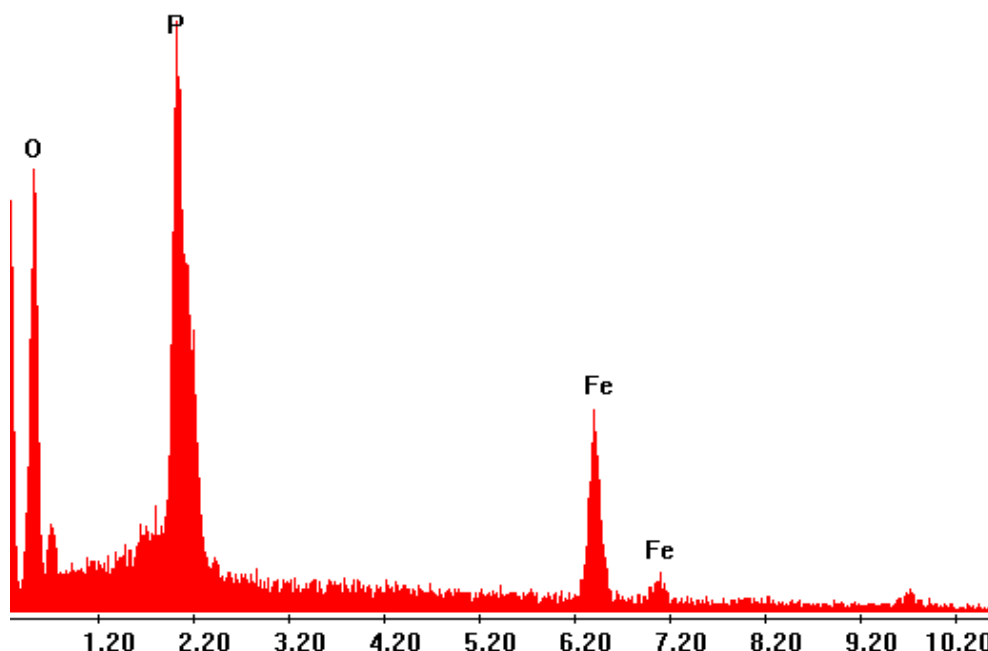


Figura 44: Análisis cualitativo Serie 2, etapa1

La figura 44 corresponde a un microanálisis de una de las zonas más claras que se presentan en la figura 43.

Se observa cómo aparece en el espectro las señales correspondientes al Fe, P y O. Este hecho pudiera confirmar la formación de la fase  $\text{FePO}_4$ .

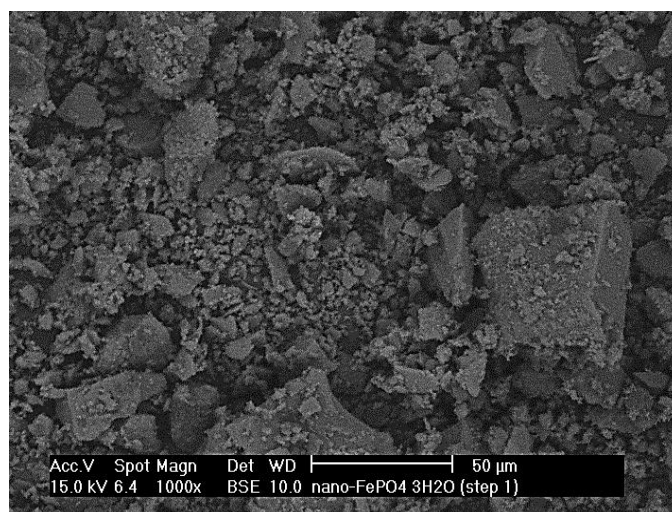
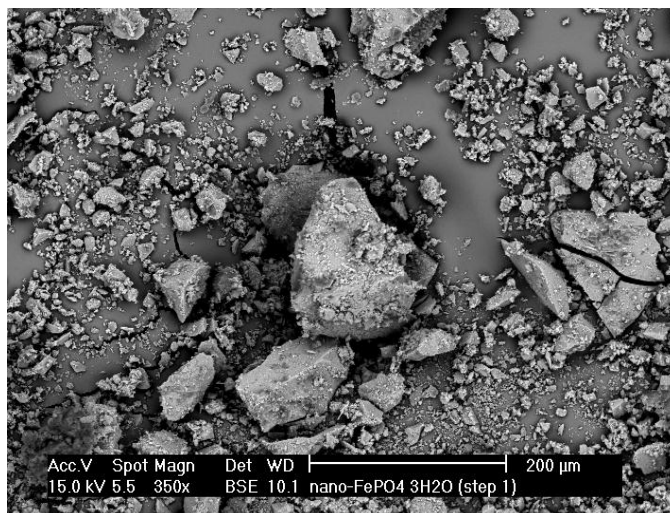


Figura 45 : Análisis BSE 1000x, serie 2, etapa 1

Esta imagen esta realizada a 1000 aumentos. Como se puede observar, no hay grandes evidencias de diferentes zonas con distinto contraste. Esto significa que la muestra es prácticamente homogénea y monofásica.

Cuando disminuimos los aumentos, pero seguimos en análisis de electrones retrodispersados, como es el caso de la figura 46, se llega a observar con mayor precisión como la zona analizada es homogénea

en cuanto a composición. Al realizar un microanálisis de una de las áreas se llegó a obtener que había un 46,97% de fósforo y un 53,02% de hierro lo que verifica lo comentado hasta ahora de la composición.



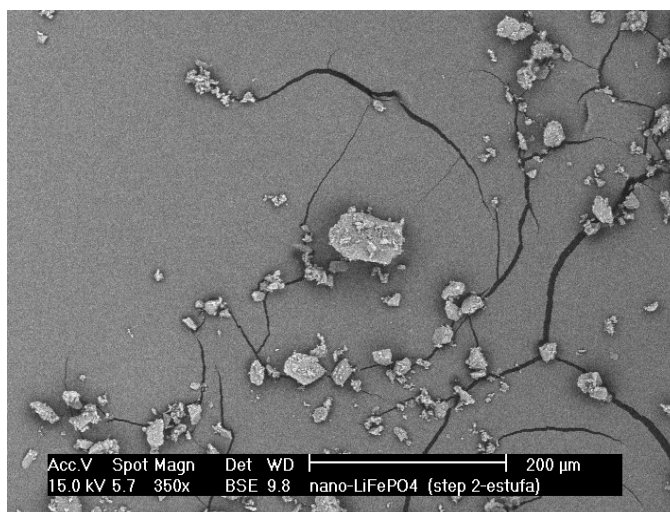
*Figura 46: Análisis BSE 350x.Serie 2, etapa 1*

Bien es cierto que en esta imagen se observan grietas y poros, aunque no tienen porque ser de la muestra analizada sino que probablemente se deban al soporte de aluminio empleado en el equipo para introducir la muestra.

## 11.5.2 ETAPA 2

A continuación se presentan las imágenes tomadas en el análisis SEM de la etapa 2 de la serie 1.

La figura 47 corresponde a un análisis a 350 aumentos, estudiando el patrón de los electrones retrodispersados.



*Figura 47: Análisis BSE 350x.Serie 2 .etapa 2*

Como se puede observar en la figura 47, la muestra es bastante homogénea si nos centramos en el contraste. Además podemos visualizar ciertas grietas, que al igual que en el caso anteriormente explicado, será debido al soporte empleado.

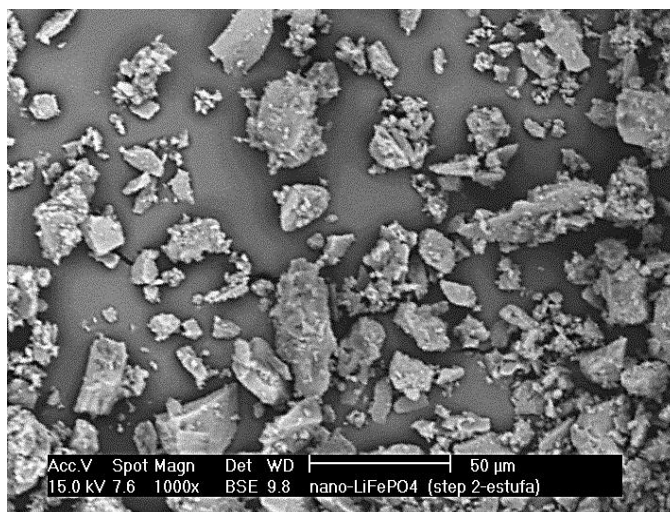
Al realizar un microanálisis de una de las zonas cuya tonalidad es mas clara, podemos cuantificar las cantidades de los elementos presentes.

Al realizar el análisis teniendo en cuenta el porcentaje de oxígeno presente, un 67.28%, si los análisis son correctos, la relación existente entre el fósforo y el hierro no debería variar, así obtenemos un 17.69% de fósforo y un 15.03% de hierro.

No obstante, el resultado obtenido se corresponde a la estequiometría de la fase  $\text{LiFePO}_4$ . pero según los resultados de difracción de rayos X, debería haber evidencias de la presencia de otras fases secundarias.

Al realizar mayores aumentos, hasta los 650x, se puede observar una cierta porosidad de la muestra, estos poros son de grafito debido a que la muestra que se quiere analizar se sitúa encima de una lamina de grafito por lo que su composición también se vera analizada.

En la siguiente figura mostrada, figura 44, se puede observar la misma muestra que la figura 47 pero a mayores aumentos, hasta 1000x.



*Figura 48: Análisis BSE 1000x Serie 1. etapa2.*

Al realizar un microanálisis de la figura 48, en un punto concreto de la muestra, donde la tonalidad resultaba mas clara, se han obtenido valores de oxígeno entorno al 60.02%, de fósforo un 20.43%, mientras que de hierro se obtienen el menos valor, aproximadamente, un 19.54%.

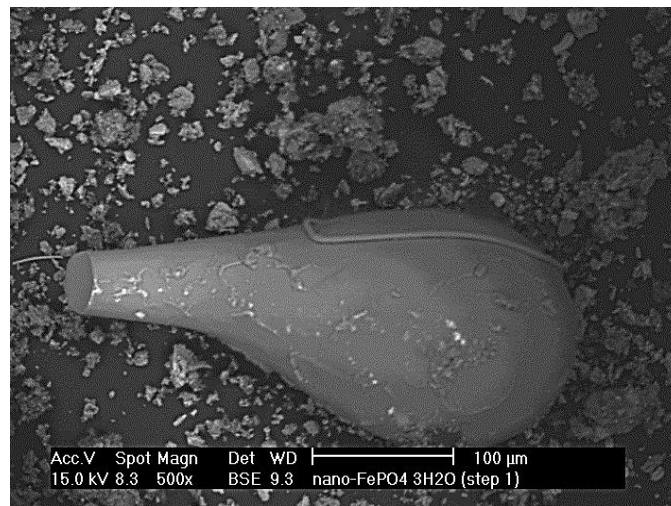
Al realizar un segundo microanálisis para cuantificar los elementos presentes en todo el área, los valores obtenidos de Fe y de P se aproximan con valores de 19.73 y 19.3% respectivamente, mientras que el elemento predominante sigue siendo el oxígeno con un 60.98%.

Como se puede ver, el mayor elemento siempre es el oxígeno, mientras que de Fe y de P, nos encontramos valores bastante parecidos aunque siempre de fósforo la cantidad es superior. Esto nos verifica lo que se observa a simple vista, poseemos una muestra homogénea en cuanto a composición.



### 11.5.3 ETAPA 3

Por ultimo, se analizó por SEM la última muestra de la primera serie.

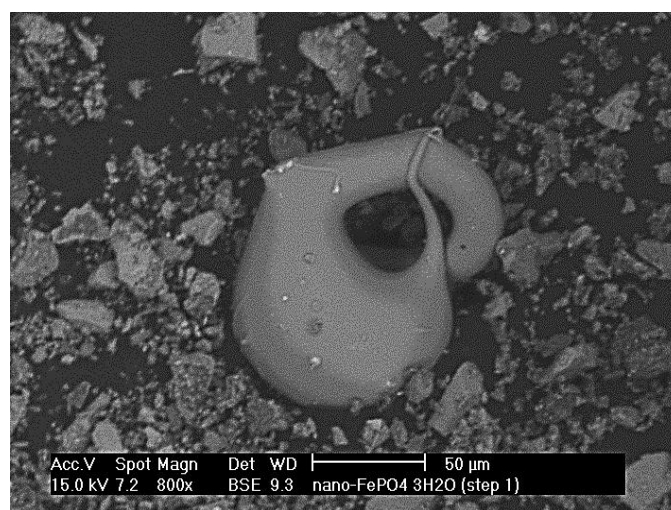


*Figura 49: Análisis BSE 500x.Serie 2, etapa3.*

Como se puede observar en la figura 49, se trata de una imagen a 500 aumentos de una de las zonas más claras que se tienen en la muestra. Al realizar un microanálisis de esta especie de ‘cantero’ observamos que se trata de una impureza de silicio, mas concretamente de  $\text{SiO}_2$  debido a la forma de extraer la muestra del horno del último tratamiento térmico. Además podemos asegurarlo pues no posee ni Fe, ni P.

La última imagen obtenida, figura 50, se trata de un análisis de electrones retrodispersados a 800x de la última muestra de la serie 1.

Como puede observarse en la micrografía de la figura 50, hay partículas con distinto tamaño y morfología. Se observan también distintos contrastes de color. Esto y que aparecen partículas pequeñas verifican los resultados de los difractogramas. Se trata de otras fases además de la buscada.



*Figura 50: Análisis BSE 800x serie2, etapa3.*

En la figura 50, se observa una imagen bastante peculiar de una de las zonas mas claras de la muestra obtenida. Se trató de conocer cuál era la composición de la partícula con geometría completamente

diferente al resto. Para ello, se llevó a cabo un análisis semicuantitativo. Al realizar el análisis de la última etapa del horno, se obtienen valores elevados de Si, lo que quiere decir que se trata de una impureza debido a la limpieza y toma de muestra después del último tratamiento térmico. Pero no solo se obtiene Si, sino que también se obtienen valores de fósforo y Aluminio, aunque en menos cantidad que el silicio. Estos dos compuestos son debidos a la base o soporte empleada para situar la muestra estudiada.

Cuando se realiza un análisis cualitativo en zonas mas oscuras de la misma muestra se obtienen valores de fósforo y Hierro, mientras que de Silicio no se obtiene nada, por lo que aunque haya impurezas significa que también existe el compuesto deseado.

Al término de la etapa 3, no se obtuvo la tonalidad deseada al finalizar el tratamiento térmico con argón. Por este motivo, se puede suponer, a simple vista, que se trata de un compuesto no deseado, por lo que se podría llegar a pensar que no se obtienen partículas de  $\text{LiFePO}_4$  o si se han obtenido no son en estado puro, debido a la presencia de las otras fases.

## 12 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación sobre la síntesis y la caracterización de partículas nanoestructuradas para su aplicación como electrodo positivo en baterías recargables de Ion-Litio, se pueden exponer una serie de conclusiones:

- La etapa de la separación de las fases, es una de las etapas más críticas de este método de sinterización. De esta etapa dependerán el resto de etapas de la secuencia, por ello sería necesario el uso de un equipo de elevada precisión, pero como no ha sido posible, se emplearon centrifugadoras comunes, por lo que este hecho se debe tener en cuenta a la hora de estudiar los resultados.
- Aun así, con este método de precipitación se han llegado a obtener partículas nanoestructuradas de  $\text{LiFePO}_4$ , hecho que se ha verificado con los análisis de DRX y SEM. No obstante, además se observa, en especial en los difractogramas de DRX, la presencia de otras fases. Estas fases no han podido ser estudiadas en profundidad por lo que sería una buena forma de continuar el trabajo de investigación.
- Cabe destacar, que la mejor muestra obtenida ha sido la Serie 2.
- Aun consiguiendo las partículas nanoestructuradas deseadas, es conveniente saber que estas partículas podrían obtenerse puras y no con impurezas como sucede en el presente proyecto, solo habría que mejorar los métodos de sinterización.





## 13 TRABAJOS FUTUROS

Una vez finalizado el trabajo y con las conclusiones expuestas, se puede obtener una visión de conjunto más ajustada de en qué contexto está ubicado el mismo, y por ello, se puede decir, que este es un trabajo complementario de otros muchos que se están realizando actualmente en diferentes zonas geográficas, en torno al tema que nos ocupa y que no es más que la mejora de las propiedades de las fuentes de energía autómatas y recargable.

Cuando se hace referencia al termino de complementario, se refiere a que existen numerosas publicaciones sobre las baterías reversibles de Ion-Litio, aun así, las publicaciones que hacen referencia a la viabilidad del  $\text{LiFePO}_4$  como electrodo positivo de estas baterías son escasas. Las publicaciones actuales que abordan el compuesto de  $\text{LiFePO}_4$  se centran especialmente en la síntesis por diferentes métodos de dicho compuesto.

En cuanto al presente proyecto de investigación, y centrándonos en las mejoras que podrían llevarse a cabo en futuros trabajos de investigación se pueden establecer los siguientes parámetros:


- Optimizar el proceso de separación de las fases obtenidas, es decir, optimizar la centrifugación o emplear otro método más preciso.
- Cuando se realice la etapa 2 de la sinterización, además de mantener en agitación la disolución durante dos horas, como se ha realizado, asegurarse de que esta etapa se realice en la oscuridad.
- Cuando se realice la última etapa del proceso, etapa 3, asegurarse la estanquidad del horno empleado, para evitar la fuga del argón. Al igual que asegurarse que las mangueras usadas no posean ningún fallo.
- En esta misma etapa, se puede sustituir el argón por otro gas que proporcione una atmosfera inerte más eficiente, para evitar posibles oxidaciones o contaminaciones.

En general, quedan abiertas gran cantidad de incógnitas por desarrollar como pueden ser:

- Determinar las propiedades electroquímicas del compuesto obtenido.
- Establecer las temperaturas óptimas de procesado de los tratamientos térmicos empleados.
- Optimizar la conductividad eléctrica del material obtenido como cátodo.



# 14 PRESUPUESTO

 <b>UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID</b> <b>Escuela Politécnica Superior</b>							
PRESUPUESTO DE PROYECTO							
1.- Autor: Almudena Araujo Briones							
2.- Departamento: Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química							
3.- Descripción del Proyecto:							
- Título: Estudio de la implementación de un sistema renovable en coches 3000 de Metro de Madrid basado en baterías de ión Litio							
- Duración (meses): 12							
Tasa de costes indirectos: 9.261,78 € 20%							
4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):							
55.570,66 € Euros							
5.- Desglose presupuestario (costes directos)							
PERSONAL							
Apellidos y nombre	N.I.F. (no rellenar - solo a título informativo)	Categoría	Dedicación (meses) <sup>a)</sup>	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad	
Rabanal Jiménez, Mª Eugenia		Ingeniero Senior	1	4.289,54	4.289,54		
Araujo Briones, Almudena		Ingeniero	12	2.694,39	32.332,68		
Hombres mes 13				Total	36.622,22		
<sup>a)</sup> 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas) Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)							
EQUIPOS							
Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable <sup>d)</sup>		
Ordenador personal Ing. Senior.	1.000,00	100	1	60	16,67		
Ordenador personal Ing.	1.000,00	100	12	60	200,00		
Impresora oficina	150,00	100	12	60	30,00		
Laboratorio (uso de hornos)	Utilización instalaciones uc3m		3				
DRX	Utilización instalaciones uc3m		3				
SEM	Utilización instalaciones uc3m		3				
Total					246,67		
<sup>d)</sup> Fórmula de cálculo de la Amortización: $\frac{A}{B} \times C \times D$ <p> A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado  B = periodo de depreciación (60 meses)  C = coste del equipo (sin IVA)  D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%) </p>							
SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS							
Descripción	Empresa	Coste imputable					
Fabricación de batería	CAF	8.120,00					
Montaje de batería	CAF	600,00					
Mantenimiento de batería	CAF	300,00					
Total		9.020,00					
OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO <sup>e)</sup>							
Descripción	Empresa	Costes imputable					
Memorias USB	Cruzer Micro	20,00					
Material de oficina	Carlin	100,00					
Viajes	Alsa	100,00					
Dietas	Ticket Restaurant	200,00					
Total		420,00					
<sup>e)</sup> Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas,							
6.- Resumen de costes							
Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales						
Personal	36.622						
Amortización	247						
Subcontratación de tareas	9.020						
Costes de funcionamiento	420						
Costes Indirectos	9.262						
Total	55.571						



## 15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [RB1] Equipo Técnico de Marketing de gates Energy Products: “Baterías recargables. Manual de Aplicaciones” (Paraninfo, 1999)
- [RB2] J. Hamel Fonseca: “Celdas, pilas y baterías de ion-litio, una alternativa para...?” (Journal Boliviano de Ciencias, 2009)
- [RB3] J. Fullea García: “Acumuladores Electroquímicos” (Mc Graw Hill, 1994)
- [RB4] M. Yoshio, R.J. Brodd, A. Kozawa: “Lithium-Ion Batteries” (Springer, 2009)
- [RB5] A. Caballero, M. Cruz, L. Hernán, M. Melero y J. Morales: “Síntesis de espinelas nanométricas mediante un método sencillo y rápido: aplicación como materiales catódicos en baterías de litio de alto voltaje” (Universidad de Córdoba, 2004)
- [RB6] Suplement de perspectiva escolar: “Perspectiva Ambiental, Trenes” (Fundació Terra, 1999)
- [RB7] Metro de Madrid: “Plano esquemático por líneas” (2012)
- [RB8] Metro de Madrid: “Manual de Conducción del tren 3000” (2006)
- [RB9] Metro de Madrid: “Noticias en Línea 2/R” (Mayo-Julio 2012)
- [RB10] CAF Construcciones y auxiliar de Ferrocarriles: “Norma Técnica” (2009)
- [RB11] “Manual CEAC del Automóvil” (Ediciones CEAC, 2004)
- [RB12] M<sup>a</sup> Carmen Gutiérrez Samaniego: “Optimización del  $\text{LiCoPO}_4$ , mediante molienda mecánica, como electrodo positivo de baterías recargables de litio” (2004)
- [RB13] Lara Barroso: “Proyecto Fin de Máster” (2012)
- [RB14] Aurora Maya: “Metro de Madrid 1919-2009. Noventa años de historia” (2009)



## 16 REFERENCIAS WEB

- [RW1] <http://www.dbup.com.ar/investigacion/baterias-de-litio-ion/historia/>
- [RW2] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>
- [RW3] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- [RW4] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>
- [RW5] <http://www.peugeot.es/>
- [RW6] <http://www.toyota.es/>
- [RW7] <http://www.mitsubishi-motors.es/home.aspx>

